

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет

С.А. Вермонт

ПРАКТИКУМ СУДОВОГО ЭЛЕКТРИКА

Курс лекций направления подготовки 26.05.07
«Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики»
для всех форм обучения

Владивосток
2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЛЕКЦИЯ №1	4
ЛЕКЦИЯ №2.....	10
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1	16
ЛЕКЦИЯ №3.....	23
ЛЕКЦИЯ №4.....	30
ЛЕКЦИЯ №5.....	37
ЛЕКЦИЯ №6.....	43
ЛЕКЦИЯ №7.....	49
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2	55
ЛЕКЦИЯ №8.....	62
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3	67
ЛЕКЦИЯ №9.....	75
ЛЕКЦИЯ №10.....	81
ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ	89

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Практикум судового электрика» занимает важное место в системе подготовки инженеров-электромехаников по специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». Её освоение на первом курсе закладывает фундамент для понимания принципов устройства, безопасной эксплуатации и технического обслуживания судового электрооборудования, что является неотъемлемой частью профессиональной деятельности будущего специалиста.

Современное морское судно представляет собой сложный инженерный комплекс, насыщенный электрическими машинами, распределительными устройствами, системами автоматики и кабельными трассами. От надёжности и безаварийности работы этих элементов напрямую зависят безопасность мореплавания, жизнь экипажа и сохранность груза. В этих условиях возрастают требования к уровню практической подготовки судового персонала, способного не только грамотно эксплуатировать технику, но и своевременно выявлять и устранять возникающие неисправности, строго соблюдая при этом правила техники безопасности.

Дисциплина «Практикум судового электрика» направлена на формирование у курсантов первичных профессиональных умений и навыков, соответствующих требованиям Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ) к лицам рядового состава и вахтенным механикам. В ходе изучения дисциплины рассматриваются ключевые элементы судовых электростанций, электроизмерительные приборы, принципы построения распределительных сетей, особенности эксплуатации кабельных линий, а также вопросы электробезопасности и оказания первой помощи пострадавшему.

Представленный курс лекций структурирован таким образом, чтобы обеспечить последовательное освоение материала: от изучения общих вопросов и требований безопасности до более сложных тем, связанных с расчётом сетей, диагностикой неисправностей и эксплуатацией специфического судового оборудования. Практическая направленность дисциплины позволяет обучающимся уже на начальном этапе получить представление о реальных задачах, с которыми им предстоит столкнуться в период плавательной практики и в дальнейшей профессиональной деятельности.

Настоящее пособие подготовлено с учётом учебных планов ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз» и содержит систематизированный материал, необходимый для успешного освоения дисциплины и прохождения промежуточной аттестации.

Владивосток, 2026 г.

ЛЕКЦИЯ №1

Тема: Введение в судовые электростанции и основы безопасности при обслуживании судового электрооборудования

Тип лекции: Информационная (установочная) с элементами проблемного изложения.

Продолжительность: 2 академических часа.

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Сформировать у обучающихся базовые представления о структуре судовой электроэнергетической системы (СЭЭС), классификации судовых электростанций и фундаментальных требованиях безопасности при выполнении работ, связанных с эксплуатацией и ремонтом электрического оборудования.

Задачи:

1. Рассмотреть роль и место судовой электростанции в общей структуре судна.
2. Изучить состав основных элементов СЭЭС и их назначение.
3. Классифицировать судовые электростанции по роду тока, напряжению и назначению.
4. Ознакомиться с требованиями Морского регистра к проектированию и эксплуатации СЭС.
5. Изучить организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность труда при обслуживании электроустановок (в рамках требований ПДНВ и межотраслевых правил ПОТЭУ).

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПКС-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание...);
- ПКС-1 (Способен осуществлять безопасное техническое использование...).

2. Информационная лекция

2.1. Определение и роль судовой электростанции

Судовая электростанция (СЭС) — это комплекс технических средств, предназначенных для производства (генерации), преобразования, распределения и передачи электрической энергии потребителям, обеспечивающим движение, безопасность и нормальное функционирование судна.

В отличие от береговых энергосистем, судовая электростанция работает в условиях автономности, повышенной вибрации, качки, агрессивной морской среды и ограниченного пространства. Выход из строя СЭС напрямую угрожает безопасности мореплавания, поэтому к надежности судовых энергосистем предъявляются чрезвычайно высокие требования.

Базовые термины (в соответствии с Правилами РМРС):

- **Главный распределительный щит (ГРЩ)** — распределительное устройство, к которому непосредственно подключены основные источники электроэнергии.
- **Потребитель электроэнергии** — устройство, преобразующее электрическую энергию в другой вид энергии (механическую, тепловую, световую).
- **Живучесть электрооборудования** — способность сохранять или быстро восстанавливать работоспособность в аварийных условиях (затопление отсека, пожар, частичное повреждение сети). Это достигается за счёт резервирования источников, секционирования ГРЩ и автономности аварийных систем.

2.2. Состав судовой электростанции

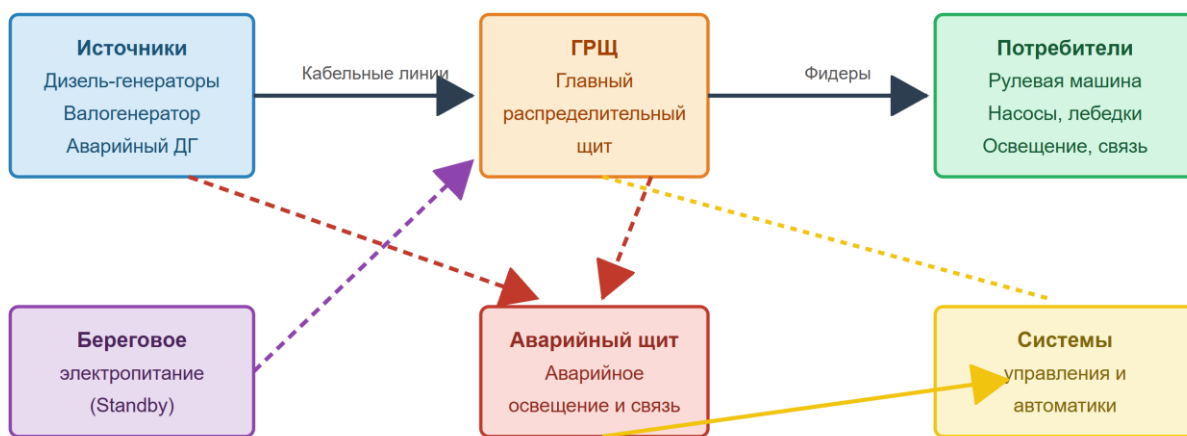


Рисунок 1. Структурная схема взаимодействия элементов судовой электростанции

Структурная схема любой судовой электростанции (Рис. 1) включает в себя следующие обязательные элементы:

1. Источники электроэнергии (первичные двигатели + генераторы):

- Дизель-генераторы (ДГ) — основной тип источников на транспортных и промысловых судах.
- Турбогенераторы (ТГ) — используются на судах с паротурбинными главными установками.
- Валогенераторы (ВГ) — генераторы, приводимые во вращение от главного двигателя (обеспечивают экономию топлива).

- Аварийные дизель-генераторы (АДГ).
- Аккумуляторные батареи (АБ) — используются для питания цепей управления, аварийного освещения и связи.

2. Распределительные устройства (РУ):

Предназначены для приема, распределения и учета электроэнергии. К ним относятся ГРЩ, секционные щиты, щиты питания с берега, групповые щитки.

3. Кабельные сети (электрические сети):

Судовые кабели соединяют источники питания с потребителями. К ним предъявляются требования по негорючести, гибкости и устойчивости к воздействию масла и влаги.

4. Потребители электроэнергии:

Классифицируются по степени ответственности (ответственные, особо ответственные, второстепенные).

- *Приводы механизмов машинного отделения:* рулевое устройство, компрессоры, насосы.
- *Палубные механизмы:* брашпиль, шпиль, лебедки.
- *Системы навигации и связи:* гирокомпас, радар, радиостанция.
- *Системы жизнеобеспечения:* освещение, вентиляция, камбуз.

5. Системы управления и автоматики:

Обеспечивают поддержание заданных параметров (напряжения, частоты), защиту от перегрузок и коротких замыканий, автоматический запуск резервных агрегатов.

Примечание: Согласно Правилам РМРС (Часть XI), каждое судно должно иметь не менее двух источников электроэнергии главной электростанции. При выходе из строя одного источника, оставшиеся должны обеспечить движение, управление и безопасность судна.

2.3. Классификация и требования к судовым электростанциям

Классификация СЭС по роду тока:

1. **СЭС переменного тока (основной тип).** Стандартные параметры: напряжение 380 В или 440 В, частота 50 Гц или 60 Гц.
2. **СЭС постоянного тока.** Встречаются на маломерных и старых судах, а также используются для питания специфического оборудования (цепи управления, зарядка АБ).
3. **Высоковольтные СЭС (до 10 кВ).** Применяются на судах с мощностью электростанции более 20 МВт (крупные танкеры, газовозы, пассажирские лайнеры).

Классификация по назначению:

1. **Главная электростанция** — обеспечивает питанием все общесудовые потребители.
2. **Аварийная электростанция** — предназначена для питания ограниченного числа потребителей при выходе из строя главной. Согласно Правилам РМРС, время автоматического запуска АДГ не должно превышать 45 секунд.

3. **Стояночная электростанция** — используется при стоянке судна в порту для обеспечения минимальной нагрузки (освещение, вентиляция, ремонтное оборудование).

Основные требования к СЭС (Правила РМРС, Часть XI «Электрическое оборудование»):

1. **Надежность:** Обеспечение бесперебойного питания всех ответственных потребителей.
2. **Живучесть:** Способность сохранять работоспособность при повреждениях (затопление отсека, пожар). Это достигается разделением ГРЩ на секции и дублированием источников питания.
3. **Безопасность:** Защита персонала от поражения электрическим током, применение автоматических выключателей, изоляция токоведущих частей.
4. **Экономичность:** Рациональное распределение нагрузки, использование валогенераторов.

2.4. Основы безопасности при обслуживании судового электрооборудования

Работы, связанные с эксплуатацией и ремонтом электрооборудования, относятся к категории повышенной опасности. В судовых условиях риск поражения электрическим током увеличивается из-за влажности, загазованности, ограниченного пространства (металлический корпус является проводником).

Нормативная база:

- Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).
- Межотраслевые правила по охране труда (ПОТЭУ) при эксплуатации электроустановок.
- Международная конвенция ПДНВ (Глава III, таблица A-III/7), которая требует от персонала знания причин поражения электротоком и мер предосторожности.

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ:

1. **Оформление наряда-допуска или разрешения:** Работы по обслуживанию выполняются по устному или письменному распоряжению старшего механика (электромеханика).
2. **Инструктаж:** Перед началом работ ответственный руководитель обязан провести инструктаж по технике безопасности.
3. **Подготовка рабочего места:** Ограждение места работ, снятие остаточного заряда, вывешивание предупредительных плакатов.

Технические мероприятия:

1. **Отключение:** Полное снятие напряжения с токоведущих частей. Автоматический выключатель переводится в положение «Выключено». Предохранители снимаются.
2. **Проверка отсутствия напряжения:** Обязательная процедура! Проверка проводится исправным указателем напряжения на всех фазах.
3. **Установка заземления (переносного):** Накладывается на отключенные токоведущие части для защиты от ошибочной подачи напряжения.

4. **Вывешивание плакатов:** «НЕ ВКЛЮЧАТЬ — РАБОТАЮТ ЛЮДИ». Плакат вывешивается на рукоятках автоматов и ключах управления.

Опасные напряжения: В судовых условиях опасным для жизни считается напряжение выше **50 В переменного тока** и **120 В постоянного тока**. Особую опасность представляет высоковольтное оборудование (свыше 1000 В), к работе с которым допускаются только специально обученные лица с группой допуска.

Алгоритм подготовки рабочего места (Технические мероприятия)



!!! Работать без снятия напряжения запрещено !!!

Ключевые правила электробезопасности

- Опасное напряжение: > 50 В переменного тока или 120 В постоянного тока
- Использовать только исправный инструмент с изолирующими рукоятками
- Работать в диэлектрических перчатках и ботах при высоком напряжении

Рисунок 2. Последовательность действий судового электрика при подготовке рабочего места

2.5. Требования ПДНВ к компетентности персонала

Согласно Таблице А-III/7 (Функция: Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления на вспомогательном уровне), судовой электрик (рядовой состав) должен **знать и понимать**:

- меры безопасности, принимаемые до начала работы или ремонта;
- процедуры изоляции (полного отключения);
- порядок действий при авариях (пожар, поражение током);
- различные уровни напряжения на судне.

Критерии оценки компетентности:

1. Специалист понимает и выполняет инструкции по безопасности.
2. Распознает опасности, связанные с электричеством, и сообщает о них.
3. Понимает опасность высокого напряжения.

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Российский морской регистр судоходства.** Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». — СПб.: РМРС, 2024.
2. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с.
3. **Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДНВ/STCW) с поправками.** — СПб.: ЦНИИМФ, 2020. — Глава III, Таблица A-III/7.
4. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000.
5. **Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00).**

4. Контрольные вопросы по лекции №1

1. Дайте определение понятию «Судовая электростанция» (СЭС).
2. Перечислите основные элементы, входящие в состав судовой электростанции.
3. Какова роль главного распределительного щита (ГРЩ)?
4. Назовите основные типы источников электроэнергии на судне.
5. Какие существуют виды судовых электростанций по назначению?
6. Какая частота и напряжение являются стандартными для судовых сетей переменного тока?
7. В чем отличие главной электростанции от аварийной?
8. Какое минимальное количество источников энергии должно быть на судне согласно Правилам РМРС?
9. Перечислите организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках.
10. Перечислите технические мероприятия, выполняемые перед началом работ со снятием напряжения.
11. Какое напряжение в судовых условиях считается опасным для жизни человека?
12. Зачем накладывается переносное заземление на отключенные токоведущие части?
13. Назовите основные требования Международной конвенции ПДНВ (Таблица A-III/7) к знаниям судового электрика.
14. Почему корпус судна повышает опасность поражения электрическим током по сравнению с береговыми условиями?
15. Расшифруйте аббревиатуры: ГРЩ, АДГ, СЭЭС, ДГ.

ЛЕКЦИЯ №2

Тема: Электроизмерительные приборы: классификация, устройство и правила применения в судовых условиях

Тип лекции: Информационная (установочная) с элементами визуализации.

Продолжительность: 1 академический час (лекция) + 4 часа практической работы (ПР №1 «Определение точности измерений»).

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Сформировать у обучающихся системные знания о назначении, классификации, принципах работы и правилах включения электроизмерительных приборов (ЭИП), применяемых в судовых электроустановках.

Задачи:

1. Изучить классификацию ЭИП по роду измеряемой величины, принципу действия и классу точности.
2. Рассмотреть условные графические обозначения, наносимые на шкалы приборов.
3. Освоить схемы подключения амперметров и вольтметров в электрические цепи.
4. Дать понятие погрешности измерений и методику её расчета.
5. Подготовить обучающихся к выполнению Практической работы №1 «Определение точности измерений».

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПКС-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание...);
- ПКС-1 (Способен осуществлять безопасное техническое использование...).

Базовые термины и определения:

- **Электроизмерительный прибор (ЭИП)** — техническое средство, предназначенное для измерения электрических величин (тока, напряжения, мощности, сопротивления и др.) с установленной точностью.
- **Класс точности** — обобщенная метрологическая характеристика прибора, определяющая пределы допускаемой основной приведенной погрешности.
- **Погрешность измерения** — отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.
- **Цена деления** — значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора.

2. Информационная лекция

2.1. Назначение и классификация электроизмерительных приборов

Электроизмерительные приборы являются неотъемлемой частью судового электрооборудования. Они устанавливаются на главных распределительных щитах (ГРЩ), пультах управления, станциях автоматики и используются для контроля режимов работы генераторов, электродвигателей, аккумуляторных батарей и кабельных сетей.

Классификация ЭИП по роду измеряемой величины:

1. **Амперметры** — измеряют силу электрического тока (А, мА, кА).
2. **Вольтметры** — измеряют электрическое напряжение (В, мВ, кВ).
3. **Омметры** — измеряют электрическое сопротивление (Ом, кОм, МОм).
4. **Ваттметры** — измеряют активную мощность (Вт, кВт, МВт).
5. **Счётчики электрической энергии** — измеряют количество потреблённой электроэнергии (кВт·ч).
6. **Частотомеры** — измеряют частоту переменного тока (Гц).
7. **Мегомметры** — измеряют большие сопротивления изоляции (МОм).

Классификация ЭИП по принципу действия (системе):

1. **Магнитоэлектрическая система** (обозначение: **Λ**).
 - **Принцип действия:** взаимодействие магнитного поля постоянного магнита и проводника с током.
 - **Особенности:** высокая точность, чувствительность, линейная шкала. Применяются только в цепях **постоянного тока**.
2. **Электромагнитная система** (обозначение: **Ξ**).
 - **Принцип действия:** втягивание ферромагнитного сердечника в катушку с током.
 - **Особенности:** простота конструкции, работают в цепях **переменного и постоянного тока**. Шкала неравномерная (квадратичная).
3. **Электродинамическая система** (обозначение: **Д**).
 - **Принцип действия:** взаимодействие двух катушек с током (подвижной и неподвижной).
 - **Особенности:** используются для измерения мощности (ваттметры). Работают в цепях переменного и постоянного тока.
4. **Цифровые (электронные) приборы.**
 - **Принцип действия:** преобразование аналогового сигнала в цифровой с последующей обработкой.
 - **Особенности:** высокая точность, наглядность, возможность передачи данных в системы автоматизации.

Классификация ЭИП по классу точности:

Класс точности обозначается числом и определяет максимально допустимую приведённую погрешность в процентах. Стандартный ряд классов точности: **0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0**.

- Приборы класса 0,05–0,2 — лабораторные (образцовые).
- Приборы класса 0,5–1,0 — технические (применяются на щитах управления).
- Приборы класса 2,5–4,0 — щитовые малочувствительные (для грубых измерений).

На судовых ГРЩ, как правило, устанавливаются щитовые приборы класса точности **1,5 или 2,5**.

Классификация электроизмерительных приборов

По роду величины		По принципу действия	По классу точности
Амперметры (А)	Вольтметры (В)	Магнитоэлектрическая ($\sim$) — DC	0,05–0,2 — лабораторные
Ваттметры (Вт)	Омметры (Ом)	Электромагнитная ($\sim$) — AC/DC	0,5–1,0 — технические
Частотомеры (Гц)	Мегомметры (МОм)	Электродинамическая ($\sim$) — AC/DC	1,5–2,5 — щитовые (судовые)
		Цифровая (электронная)	4,0 — грубые (указатели)

ПРИМЕЧАНИЕ

На судовых ГРЩ устанавливаются щитовые приборы класса точности 1,5 или 2,5.

Высоковольтные установки (свыше 1000 В) требуют приборов класса не ниже 1,0.

Приборы класса 0,05–0,2 используются для поверки и калибровки остальных.

Рисунок 1. Классификация электроизмерительных приборов

2.2. Условные графические обозначения на шкалах приборов

Каждый ЭИП имеет на шкале условные обозначения, которые позволяют электрику правильно выбрать прибор для конкретной цели. Основные обозначения включают:

Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

 Постоянный ток (DC)	 Переменный ток (AC)	 Постоянный и переменный	 Вертикальное положение
 Горизонтальное положение	 Магнитоэлектрическая система	 Электромагнитная система	 Электродинамическая система
 2кВ Испытательное напряжение	0,5 Класс точности	50 Гц Номинальная частота	A Амперметр (единица)

ПРАВИЛА ВЫБОРА ПРИБОРА

1. Определите род тока в цепи (DC или AC).
2. Определите пределы измеряемой величины (не более 2/3 шкалы).
3. Убедитесь, что класс точности прибора соответствует задаче измерения.
4. Проверьте рабочее положение прибора (вертикальное или горизонтальное).
5. Убедитесь в целостности корпуса и исправности клемм.

Рисунок 2. Основные условные обозначения на шкалах ЭИП

2.3. Погрешность измерений и класс точности

Абсолютно точных измерений не существует. Каждый прибор имеет определённую погрешность, которая нормируется его классом точности.

Основные виды погрешностей:

1. **Абсолютная погрешность (Δ)** — разность между показанием прибора ($X_{изм}$) и действительным значением (X_d):

$$\Delta = X_{изм} - X_d$$

2. **Относительная погрешность (δ)** — отношение абсолютной погрешности к действительному значению, выраженное в процентах:

$$\delta = (\Delta / X_d) \cdot 100\%$$

3. **Приведённая погрешность ($\gamma_{пр}$)** — отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению (обычно верхнему пределу шкалы $X_{макс}$):

$$\gamma_{пр} = (\Delta / X_{макс}) \cdot 100\%$$

Пример расчета: Прибор с пределом измерения 100 А показал 80 А, а действительное значение тока равно 78 А. Определим погрешности:

- Абсолютная погрешность: $\Delta = 80 - 78 = 2$ А.
- Относительная погрешность: $\delta = (2 / 78) \cdot 100\% \approx 2,56\%$.
- Приведённая погрешность: $\gamma_{пр} = (2 / 100) \cdot 100\% = 2\%$.

Если приведённая погрешность составляет 2%, то прибор может быть отнесён к классу точности **2,5**.

2.4. Схемы подключения приборов

Правильное включение прибора в цепь — залог точности и безопасности измерений.

Подключение амперметра:

Амперметр включается **последовательно** с нагрузкой, так как измеряет ток, протекающий через цепь. Внутреннее сопротивление амперметра должно быть минимальным, чтобы не влиять на измеряемую цепь.

- Для расширения пределов измерения амперметра применяются **шунты** (для постоянного тока) и **трансформаторы тока** (для переменного тока).

Подключение вольтметра:

Вольтметр включается **параллельно** участку цепи, на котором измеряется напряжение. Внутреннее сопротивление вольтметра должно быть максимальным.

- Для расширения пределов измерения вольтметра применяются **добавочные резисторы** (для постоянного тока) и **трансформаторы напряжения** (для переменного тока).

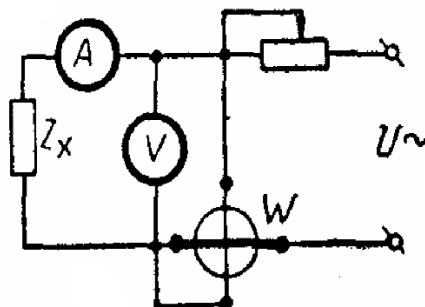


Рисунок 3. Схемы подключения амперметра и вольтметра

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ И ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Амперметр включается последовательно и имеет малое внутреннее сопротивление.
2. Вольтметр включается параллельно и имеет большое внутреннее сопротивление.
3. Запрещается подключать амперметр непосредственно к источнику ЭДС без нагрузки (КЗ!).
4. При измерениях в цепях высокого напряжения использовать трансформаторы тока и напряжения.
5. Перед измерением проверять целостность щупов и изоляции прибора.
6. Не превышать максимально допустимый предел измерения прибора.

2.5. Судовая специфика применения ЭИП

На судах применение ЭИП имеет ряд особенностей, связанных с условиями эксплуатации:

1. **Вибрация и качка:** Приборы должны иметь виброустойчивое исполнение. Стрелочные приборы устанавливаются на амортизаторах.
2. **Влажность и соленость:** Корпуса приборов должны быть влагозащищёнными (степень защиты IP54 и выше).
3. **Высокие температуры:** В машинных отделениях температура может достигать $+50^{\circ}\text{C}$, поэтому приборы должны сохранять точность в широком диапазоне температур.

4. **Измерение в высоковольтных сетях:** На судах с напряжением выше 1000 В применяются трансформаторы тока и напряжения, которые изолируют измерительные цепи от силовых.
 5. **Дистанционный контроль:** Современные судовые системы автоматики используют цифровые датчики, данные с которых передаются в центральный пост управления (ЦПУ) по шинам данных.
-

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с. (Раздел 2).
2. **Российский морской регистр судоходства.** Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». — СПб.: РМРС, 2024.
3. **Международная электротехническая комиссия (МЭК).** Стандарт IEC 60051 «Аналоговые показывающие электроизмерительные приборы прямого действия и вспомогательные части к ним».
4. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000.
5. **Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТ Р М-016-2001).**

4. Контрольные вопросы к Лекции №2

1. Дайте определение электроизмерительного прибора.
2. Перечислите классификацию ЭИП по роду измеряемой величины.
3. Какие системы ЭИП применяются в цепях постоянного тока?
4. Какая система приборов используется для измерения мощности?
5. Что такое класс точности прибора?
6. Какие классы точности относятся к техническим (щитовым) приборам?
7. Что обозначает символ «L» на шкале прибора?
8. Как включается амперметр в электрическую цепь и почему?
9. Как включается вольтметр в электрическую цепь и почему?
10. Что такое шунт и для чего он применяется?
11. Что такое добавочный резистор?
12. Напишите формулу для расчёта абсолютной погрешности.
13. Напишите формулу для расчёта приведённой погрешности.
14. Почему запрещается подключать амперметр без нагрузки?
15. Какие особенности эксплуатации ЭИП характерны для судовых условий?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Тема: «Определение точности измерений электроизмерительных приборов»

Цель работы: Освоить методику расчёта погрешностей измерений, определения класса точности приборов и выбора средств измерений для решения практических задач.

Время выполнения: 4 академических часа.

Основные формулы:

Величина	Формула	Обозначения
Абсолютная погрешность	$\Delta = X_{\text{изм}} - X_{\text{д}}$	$X_{\text{изм}}$ — показание прибора; $X_{\text{д}}$ — действительное значение
Относительная погрешность	$\delta = (\Delta / X_{\text{д}}) \cdot 100\%$	Δ — абсолютная погрешность
Приведённая погрешность	$\gamma_{\text{пр}} = (\Delta / X_{\text{макс}}) \cdot 100\%$	$X_{\text{макс}}$ — верхний предел шкалы
Цена деления	$\zeta = (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) / N$	N — число делений шкалы
Показание прибора	$X = \zeta \cdot n$	n — число делений, на которое отклонилась стрелка
Максимальная абсолютная погрешность по классу точности	$\Delta_{\text{max}} = (K \cdot X_{\text{макс}}) / 100$	K — класс точности

ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ

Задача 1. Расчёт погрешностей (для всех вариантов)

Условие: Прибор показал значение $X_{\text{изм}}$. Действительное значение, измеренное образцовым прибором, равно $X_{\text{д}}$. Определите абсолютную (Δ), относительную (δ) и приведённую ($\gamma_{\text{пр}}$) погрешности. Укажите возможный класс точности прибора.

Вариант	Тип прибора	Предел измерения $X_{\text{макс}}$	Показание $X_{\text{изм}}$	Действительное значение $X_{\text{д}}$
1	Амперметр	50 А	32 А	31,2 А
2	Вольтметр	150 В	127 В	125,5 В
3	Амперметр	100 А	78 А	77,4 А
4	Вольтметр	600 В	480 В	475 В
5	Амперметр	20 А	14,5 А	14,3 А
6	Вольтметр	450 В	380 В	376 В
7	Амперметр	75 А	55 А	54,2 А
8	Вольтметр	500 В	415 В	410 В
9	Амперметр	40 А	27 А	26,5 А
10	Вольтметр	300 В	210 В	207 В
11	Амперметр	60 А	43 А	42,3 А
12	Вольтметр	100 В	75 В	74,1 В
13	Амперметр	80 А	65 А	64 А
14	Вольтметр	600 В	525 В	518 В
15	Амперметр	30 А	19 А	18,7 А
16	Вольтметр	200 В	155 В	152 В
17	Амперметр	15 А	9,5 А	9,4 А
18	Вольтметр	1000 В	820 В	810 В
19	Амперметр	25 А	17 А	16,7 А
20	Вольтметр	75 В	52 В	51,3 В

Задача 2. Определение цены деления и показания прибора (для всех вариантов)

Условие: Прибор имеет предел шкалы $X_{\max}$, число делений N . Стрелка отклонилась на n делений. Определите цену деления (C) и измеренное значение (X).

Вариант	Тип прибора	Предел шкалы $X_{\max}$	Число делений N	Отклонение n (дел.)
1	Вольтметр	250 В	50	37
2	Амперметр	30 А	60	44
3	Вольтметр	300 В	60	52
4	Амперметр	5 А	100	73
5	Вольтметр	100 В	50	28
6	Амперметр	10 А	100	62
7	Вольтметр	200 В	80	65
8	Амперметр	15 А	75	51
9	Вольтметр	60 В	30	21
10	Амперметр	25 А	50	38
11	Вольтметр	150 В	75	58
12	Амперметр	50 А	100	84
13	Вольтметр	250 В	50	43
14	Амперметр	2 А	100	67
15	Вольтметр	500 В	100	76
16	Амперметр	100 А	50	33
17	Вольтметр	30 В	60	49
18	Амперметр	60 А	120	95
19	Вольтметр	400 В	80	61
20	Амперметр	200 А	100	72

Задача 3. Определение максимальной абсолютной погрешности по классу точности (для всех вариантов)

Условие: Прибор имеет класс точности K и предел измерения $X_{\max}$. Определите максимально допустимую абсолютную погрешность ($\Delta_{\max}$).

Вариант	Тип прибора	Класс точности K	Предел измерения $X_{\max}$
1	Вольтметр	1,5	100 В
2	Вольтметр	2,5	500 В
3	Миллиамперметр	1,0	200 мА
4	Амперметр	0,5	10 А
5	Амперметр	4,0	30 А
6	Вольтметр	1,5	150 В
7	Вольтметр	2,5	1000 В
8	Частотомер	1,0	50 Гц
9	Миллиамперметр	0,2	100 мА
10	Мегомметр	1,5	20 МОм
11	Ваттметр	2,5	5 кВт
12	Вольтметр	1,0	250 В
13	Амперметр	4,0	100 А
14	Вольтметр	0,5	300 В
15	Ваттметр	2,5	200 кВт
16	Частотомер	1,5	60 Гц
17	Мегомметр	1,0	5 МОм
18	Вольтметр	2,5	500 В
19	Милливольтметр	0,2	50 мВ
20	Ваттметр	1,5	10 кВт

Задача 4. Выбор прибора для измерения (для всех вариантов)

Условие: Для измерения заданной величины имеются два прибора. Определите, какой прибор обеспечит меньшую относительную погрешность измерения. Ответ обоснуйте расчётом.

Вариант	Измеряемая величина	Прибор 1: предел / класс	Прибор 2: предел / класс
1	Ток 15 А (DC)	20 А / 2,5	50 А / 1,0
2	Напряжение 60 В	100 В / 1,5	75 В / 2,5
3	Ток 8 А (AC)	10 А / 2,5	20 А / 1,5
4	Напряжение 110 В	150 В / 1,5	250 В / 1,0
5	Ток 25 А	30 А / 2,5	50 А / 1,5
6	Напряжение 30 В	50 В / 2,5	100 В / 1,0
7	Ток 4 А	5 А / 2,5	10 А / 1,5
8	Напряжение 24 В	30 В / 2,5	50 В / 1,5
9	Ток 60 А	75 А / 2,5	100 А / 1,0
10	Напряжение 12 В	15 В / 2,5	30 В / 1,5
11	Ток 3,5 А	5 А / 1,5	10 А / 1,0
12	Напряжение 90 В	100 В / 2,5	150 В / 1,5
13	Ток 18 А	20 А / 2,5	30 А / 1,5
14	Напряжение 45 В	50 В / 2,5	75 В / 1,0
15	Ток 90 А	100 А / 2,5	150 А / 1,5
16	Напряжение 6 В	10 В / 2,5	20 В / 1,0
17	Ток 12 А	15 А / 2,5	25 А / 1,5
18	Напряжение 130 В	150 В / 2,5	250 В / 1,5
19	Ток 75 А	100 А / 2,5	150 А / 1,0
20	Напряжение 70 В	100 В / 2,5	150 В / 1,5

Задача 5. Определение диапазона действительного значения (для всех вариантов)

Условие: Прибор показал значение Хизм. Паспортная погрешность прибора составляет $\pm P\%$. Определите диапазон, в котором находится действительное значение измеряемой величины.

Вариант	Тип прибора	Показание Хизм	Паспортная погрешность $\pm P, \%$
1	Мегомметр	2,4 МОм	10
2	Омметр	0,8 Ом	5
3	Мегомметр	5,6 МОм	8
4	Амперметр	12,4 А	2,5
5	Омметр	15 Ом	4
6	Мегомметр	0,9 МОм	15
7	Вольтметр	220 В	1,5
8	Омметр	3,2 кОм	6
9	Мегомметр	12 МОм	12
10	Амперметр	0,45 А	3
11	Омметр	47 Ом	5
12	Мегомметр	0,35 МОм	18
13	Вольтметр	380 В	2
14	Омметр	120 Ом	3
15	Мегомметр	8,5 МОм	10
16	Амперметр	2,75 А	4
17	Омметр	0,15 Ом	8
18	Мегомметр	1,8 МОм	12
19	Вольтметр	48 В	2
20	Омметр	680 Ом	5

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЁТА

Отчёт по практической работе должен содержать:

1. **Титульную информацию:** название работы, ФИО студента, номер группы, номер варианта.
 2. **Цель работы.**
 3. **Решение задач** по следующему алгоритму:
 - выписать исходные данные из таблицы;
 - записать расчётную формулу;
 - подставить числовые значения;
 - произвести вычисление;
 - записать ответ с единицами измерения.
 4. **Вывод** по результатам работы (что научились определять, какой прибор точнее, в чём практическая значимость расчёта погрешностей).
-

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ

Задача 1 (расчёт погрешностей):

1. $\Delta = X_{\text{изм}} - X_{\text{д.}}$
2. $\delta = (\Delta / X_{\text{д.}}) \cdot 100\%$.
3. $\gamma_{\text{пр}} = (\Delta / X_{\text{макс}}) \cdot 100\%$.
4. Класс точности — ближайшее большее значение из ряда: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Задача 2 (цена деления):

1. $\text{Ц} = X_{\text{max}} / N$.
2. $X = \text{Ц} \cdot n$.

Задача 3 (максимальная абсолютная погрешность):

1. $\Delta_{\text{max}} = (K \cdot X_{\text{макс}}) / 100$.

Задача 4 (выбор прибора):

1. Для каждого прибора: $\Delta_{\text{max}} = (K \cdot \text{Предел}) / 100$.
2. Для каждого прибора: $\delta = (\Delta_{\text{max}} / X_{\text{изм}}) \cdot 100\%$.
3. Сравнить δ_1 и δ_2 , выбрать прибор с меньшим значением.

Задача 5 (диапазон действительного значения):

1. $\Delta = (X_{\text{изм}} \cdot P\%) / 100$.
2. Диапазон: от $(X_{\text{изм}} - \Delta)$ до $(X_{\text{изм}} + \Delta)$.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Оценка	Требования
«Отлично» (5)	Все 5 задач решены верно, расчёты выполнены по алгоритму, оформление соответствует требованиям, вывод корректный. Допускается не более 1 арифметической ошибки.
«Хорошо» (4)	Верно решены 4 задачи, оформление соответствует требованиям. Допускается 1–2 незначительные ошибки в расчётах или выводах.
«Удовлетворительно» (3)	Верно решены 3 задачи. Расчёты выполнены, но имеются ошибки в применении формул или оформлении отчёта.
«Неудовлетворительно» (2)	Решено менее 3 задач, отсутствует понимание базовых формул расчёта погрешностей. Требуется повторная сдача работы.

ЛЕКЦИЯ №3

Тема: Распределительные устройства, кабельные сети и маркировка судовых кабелей

Тип лекции: Информационная (установочная) с элементами визуализации.
Продолжительность: 1 академический час (лекция) + 2 часа практической работы (ПР №2 «Марки судовых кабелей»).

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Сформировать у обучающихся системные знания об устройстве распределительных устройств судовых электростанций, особенностях эксплуатации судовых кабельных сетей и правилах маркировки судовых кабелей.

Задачи:

1. Изучить назначение, классификацию и устройство распределительных устройств (РУ) судовых электростанций.
2. Рассмотреть основные элементы главного распределительного щита (ГРЩ) и их функции.
3. Изучить особенности эксплуатации судовых электрических сетей и требования к ним.
4. Освоить систему маркировки судовых кабелей и научиться расшифровывать буквенно-цифровые обозначения.
5. Подготовить обучающихся к выполнению Практической работы №2 «Марки судовых кабелей».

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПКС-1 (Способен осуществлять безопасное техническое использование и техническое обслуживание судового электрооборудования...);
- ПКС-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт электрического и электронного оборудования...).

Базовые термины и определения:

- **Распределительное устройство (РУ)** — электроустановка, предназначенная для приёма и распределения электроэнергии на одном напряжении, содержащая коммутационные аппараты, сборные шины и вспомогательные устройства.
- **Главный распределительный щит (ГРЩ)** — распределительное устройство, к которому непосредственно подключены основные источники электроэнергии судна.
- **Кабельная сеть** — совокупность кабельных линий, соединяющих источники электроэнергии с потребителями.
- **Фидер** — кабельная линия, отходящая от распределительного устройства к потребителю или группе потребителей.
- **Маркировка кабеля** — буквенно-цифровое обозначение, нанесённое на оболочку кабеля и отражающее его конструкцию, материалы и область применения.

2. Информационная лекция

2.1. Назначение и классификация распределительных устройств

Распределительные устройства (РУ) являются ключевым звеном судовой электроэнергетической системы. Они предназначены для приёма электроэнергии от генераторов и её распределения между потребителями, а также для защиты линий и оборудования от перегрузок и коротких замыканий.

Классификация РУ судовых электростанций:

По функциональному назначению:

1. **Главный распределительный щит (ГРЩ)** — центральное РУ, к которому подключаются все основные источники электроэнергии (дизель-генераторы, валогенераторы). От ГРЩ питаются наиболее ответственные потребители.
2. **Аварийный распределительный щит (АРЩ)** — РУ, питающееся от аварийного дизель-генератора и предназначенное для питания аварийных потребителей при обесточивании ГРЩ.
3. **Секционные щиты** — РУ, разделяющие ГРЩ на секции для повышения живучести электростанции.
4. **Щит питания с берега** — РУ, предназначенное для подключения судна к береговой электрической сети во время стоянки.
5. **Групповые щитки (щитки освещения, щитки вентиляции и т.п.)** — РУ, обеспечивающие распределение электроэнергии внутри отдельных групп потребителей.
6. **Щиты управления** — РУ, содержащие аппаратуру управления и защиты отдельных механизмов (рулевой машины, брашпиля, компрессоров).

По конструктивному исполнению:

1. **Открытые РУ** — располагаются в специальных помещениях с ограниченным доступом.
2. **Защищённые РУ** — имеют металлический корпус, предохраняющий от случайного прикосновения к токоведущим частям.
3. **Герметичные (водозащищённые) РУ** — имеют уплотнения, предотвращающие попадание влаги и пыли.
4. **Взрывозащищённые РУ** — применяются на танкерах и судах, перевозящих взрывоопасные грузы.

2.2. Устройство и основные элементы ГРЩ

Главный распределительный щит является «сердцем» судовой электростанции. Его конструкция и состав регламентируются Правилами РМРС (Часть XI «Электрическое оборудование»).

Основные элементы ГРЩ:

1. **Сборные шины:**
 - Представляют собой медные или алюминиевые полосы, к которым подключаются источники и фидеры.

- Секционируются автоматическими выключателями для разделения электростанции на независимые части (повышение живучести).

2. Генераторные панели:

- Устанавливаются для каждого генератора.
- Содержат: автоматический выключатель (автомат), амперметр, вольтметр, ваттметр, частотомер, реле обратной мощности, устройства регулировки напряжения и частоты.

3. Потребительские (фидерные) панели:

- Предназначены для подключения отходящих линий к потребителям.
- Содержат автоматические выключатели или предохранители.

4. Панель управления:

- Содержит приборы синхронизации генераторов, кнопки и ключи управления, сигнальные лампы.

5. Измерительные трансформаторы:

- Трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН) для подключения измерительных приборов и реле защиты.

Структурная схема главного распределительного щита (ГРЩ)

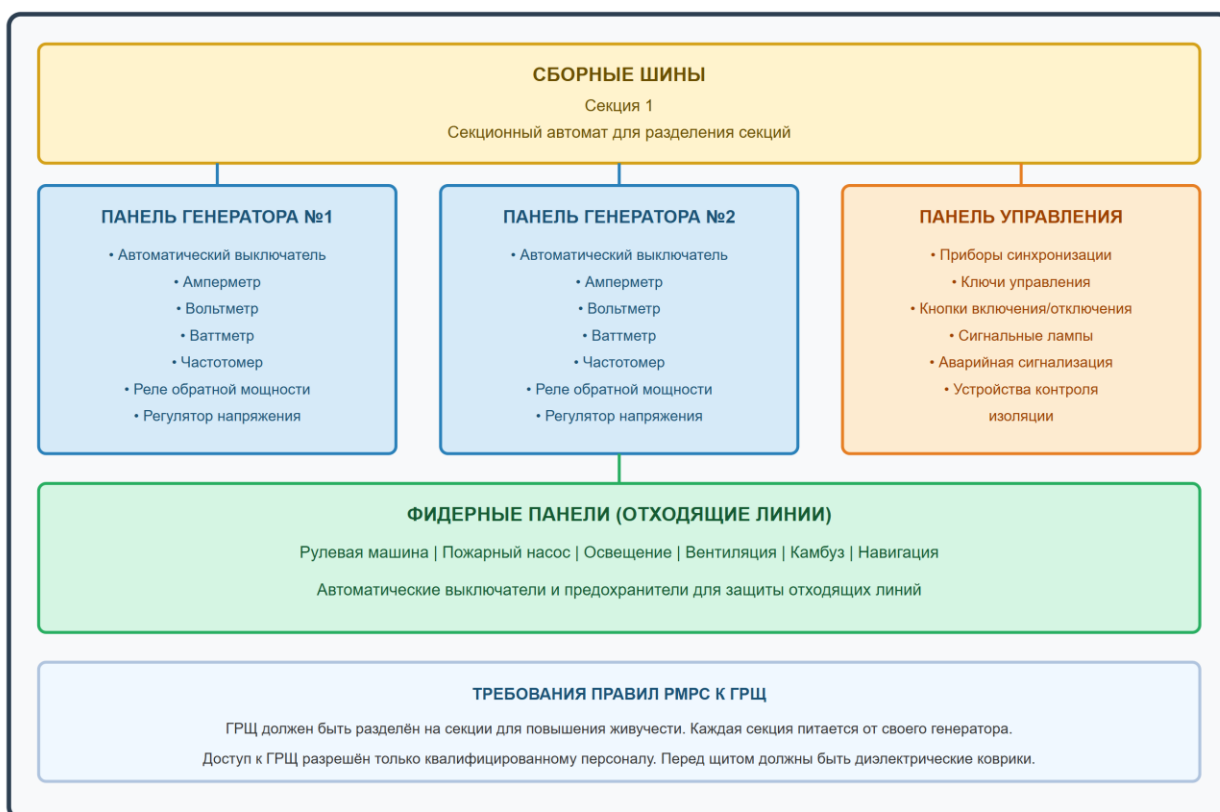


Рисунок 1. Структурная схема главного распределительного щита (ГРЩ)

2.3. Особенности эксплуатации электрических судовых сетей

Судовые электрические сети работают в значительно более жёстких условиях по сравнению с береговыми. Это накладывает ряд специфических требований к их конструкции и эксплуатации.

Основные особенности судовых сетей:

1. Повышенная влажность и солёность:

- Морская вода является электролитом, что ускоряет коррозию и снижает сопротивление изоляции.
- Кабели и РУ должны иметь влагозащищённое исполнение.

2. Вибрация и качка:

- Постоянная вибрация от работающих механизмов приводит к ослаблению контактных соединений.
- Требуется регулярная проверка и подтяжка контактов.

3. Ограниченное пространство:

- Кабельные трассы прокладываются в труднодоступных местах (под палубами, за обшивкой).
- Это затрудняет обслуживание и требует применения кабелей повышенной гибкости.

4. Пожароопасность:

- Корпуса судов насыщены горючими материалами.
- Кабели должны иметь негорючую оболочку и не распространять пламя.

5. Колебания напряжения и частоты:

- При пуске мощных электродвигателей происходят просадки напряжения.
- Сети должны быть рассчитаны на перегрузки и кратковременные провалы напряжения.

Требования к судовым электрическим сетям (Правила РМРС):

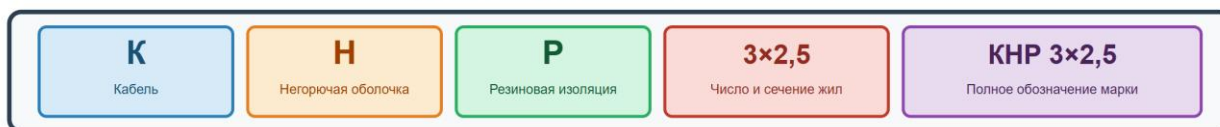
1. Все кабели должны иметь маркировку с указанием сечения и назначения.
2. Кабельные трассы должны прокладываться с учётом теплового режима (не ближе 50 мм от горячих поверхностей).
3. Кабели, проходящие через водонепроницаемые переборки, должны прокладываться через специальные сальники.
4. Металлические оболочки кабелей должны быть заземлены.
5. Сечение кабеля выбирается исходя из длительно допустимого тока с проверкой на падение напряжения (не более 5–7 % для силовых цепей).

2.4. Марки судовых кабелей

Маркировка судовых кабелей осуществляется в соответствии с государственными стандартами. Буквенно-цифровое обозначение отражает конструкцию кабеля, материалы изоляции и оболочки, а также область применения.

Структура обозначения марки кабеля:

Структура маркировки судового кабеля



РАСШИФРОВКА ОБОЗНАЧЕНИЯ КНР 3×2,5

К — кабель с медными жилами (отсутствие буквы «А» означает медь);

Н — оболочка из негорючей резины (не распространяет горение);

Р — резиновая изоляция жил;

3 — число жил в кабеле;

2,5 — сечение каждой жилы в квадратных миллиметрах (мм²).

Назначение: силовые и осветительные сети напряжением до 660 В.

Условия прокладки: помещения с повышенной влажностью, машинные отделения.

Рисунок 2. Расшифровка маркировки судового кабеля

Основные буквенные обозначения:

Буква/Символ	Значение	Пример
К	Кабель	КНР
Н	Оболочка из негорючей резины	КНР
Р	Резиновая изоляция / резиновая оболочка	КНР
П	Полиэтиленовая изоляция	СПОВ
В	Поливинилхлоридная (ПВХ) изоляция/оболочка	КВВГ
С	Судовой	СПОВ
Г	Гибкий	КВВГ
Т	Теплостойкий	КНРТ
М	Морской (маслостойкий)	КНРЭМ
Э	Экранированный	КНРЭ
О	Облегчённая оболочка	СПОВ
Л	Лущёная жила	КНРЛ

Расшифровка наиболее распространённых марок судовых кабелей:

Марка	Расшифровка	Применение
КНР	Кабель с медными жилами, резиновой изоляцией, оболочкой из негорючей резины	Силовые и осветительные сети до 660 В
КНРТ	КНР теплостойкий (до +85°C)	Сети в машинных отделениях, у котлов
КНРЭ	КНР экранированный	Цепи управления, связи, автоматики
СПОВ	Кабель судовой с полиэтиленовой изоляцией, облегчённой оболочкой	Сети высокого напряжения, антенные линии
КВВГ	Кабель с ПВХ изоляцией и оболочкой, гибкий	Силовые и контрольные сети

Цифровые обозначения в маркировке:

После буквенного обозначения указывается число жил и их сечение: **КНР 3×2,5** — кабель марки КНР с тремя жилами сечением 2,5 мм² каждая.

Буквенные обозначения жил:

Буква	Значение
А	Алюминиевая жила (отсутствие буквы — медь)
Л	Лужёная медная жила
М	Медная жила (указывается явно в некоторых марках)

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Российский морской регистр судоходства.** Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». — СПб.: РМРС, 2024.
2. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с. (Разделы 3, 5, 6).
3. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000.
4. **Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДНВ/STCW) с поправками.** — СПб.: ЦНИИМФ, 2020. — Глава III, Таблица А-III/7.
5. **ГОСТ 18482-79.** Кабели судовые. Технические условия.

4. Контрольные вопросы к Лекции №3

1. Дайте определение распределительного устройства (РУ).
2. Перечислите виды распределительных устройств судовых электростанций по функциональному назначению.
3. Каково назначение главного распределительного щита (ГРЩ)?
4. Перечислите основные элементы, входящие в состав ГРЩ.
5. Что такое сборные шины и зачем они секционируются?
6. Что такое секционный автомат?
7. Какие приборы устанавливаются на генераторной панели ГРЩ?
8. Что такое фидер и для чего он предназначен?
9. Какие виды РУ по конструктивному исполнению существуют?
10. Перечислите основные особенности эксплуатации судовых электрических сетей.
11. Какие требования предъявляет РМРС к кабельным трассам судов?
12. Что такое маркировка кабеля и какую информацию она несёт?
13. Расшифруйте марку кабеля КНР.
14. Расшифруйте марку кабеля КНРТ.
15. Чем отличается кабель КНРЭ от КНР?
16. Что обозначает цифровое обозначение в маркировке кабеля (например, 3×2,5)?
17. Для чего применяются кабели марки СПОВ?
18. Какое сечение кабеля необходимо для передачи тока 25 А, если допустимая плотность тока составляет 5 А/мм²?
19. Какие буквы в маркировке кабеля обозначают негорючую оболочку?
20. Почему судовые кабели должны иметь негорючую оболочку?

ЛЕКЦИЯ №4

Тема: Аварийные источники электрической энергии и электроснабжение судов от береговых электрических сетей

Тип лекции: Информационная (установочная) с элементами визуализации.

Продолжительность: 1 академический час.

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Сформировать у обучающихся системные знания об аварийных источниках электроэнергии судна, их классификации, устройстве и правилах эксплуатации, а также изучить порядок подключения судна к береговым электрическим сетям.

Задачи:

1. Изучить назначение и классификацию аварийных источников электрической энергии.
2. Рассмотреть требования Правил РМРС к аварийным источникам и аварийной сети.
3. Изучить устройство и особенности эксплуатации аккумуляторных батарей.
4. Рассмотреть схему и правила подключения судна к береговой электрической сети.
5. Изучить меры безопасности при работе с аварийными источниками и береговым питанием.

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПКС-1 (Способен осуществлять безопасное техническое использование и техническое обслуживание судового электрооборудования...);
- ПКС-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт электрического и электронного оборудования...).

Базовые термины и определения:

- **Аварийный источник электроэнергии** — источник, предназначенный для питания аварийной сети при выходе из строя главной электростанции.
- **Аварийный дизель-генератор (АДГ)** — дизель-генератор, автоматически запускающийся при исчезновении напряжения на шинах главного распределительного щита.
- **Аккумуляторная батарея (АБ)** — химический источник тока многократного действия, накапливающий электрическую энергию при заряде и отдающий её при разряде.
- **Щит питания с берега** — распределительное устройство, предназначенное для подключения судовой сети к береговой электрической сети.
- **Береговая электрическая сеть** — внешний источник электроэнергии, используемый для питания судна во время стоянки в порту.

2. Информационная лекция

2.1. Назначение и классификация аварийных источников электроэнергии

Аварийные источники электроэнергии являются неотъемлемой частью судовой электростанции. Их назначение — обеспечить питание жизненно важных потребителей при полной или частичной потере электропитания от главной электростанции. Выход из строя главной электростанции может быть вызван пожаром, затоплением отсека, коротким замыканием на шинах ГРЩ или повреждением первичных двигателей.

Классификация аварийных источников:

1. **Аварийный дизель-генератор (АДГ)** — основной тип аварийного источника на транспортных и промысловых судах. Представляет собой автономный дизельный двигатель, соединённый с электрическим генератором.
2. **Аккумуляторные батареи (АБ)** — применяются для питания цепей управления, аварийного освещения, радиостанции, аварийной сигнализации. Используются как самостоятельный аварийный источник или как резерв на время запуска АДГ.

Требования Правил РМРС к аварийным источникам:

1. **Время автоматического запуска АДГ** не должно превышать **45 секунд** с момента исчезновения напряжения на шинах ГРЩ.
2. **Запас топлива** для АДГ должен обеспечивать непрерывную работу в течение:
 - **18 часов** — для пассажирских судов;
 - **6/12 часов** — для грузовых судов.
3. **Мощность АДГ** должна быть достаточной для питания всех аварийных потребителей одновременно.
4. **Ёмкость АБ** должна обеспечивать питание аварийного освещения и связи в течение:
 - **30 минут** — для пассажирских судов;
 - **3 часов** — для грузовых судов (при отсутствии АДГ).
5. **Местоположение:** АДГ и АБ должны располагаться выше палубы переборок, вне машинного отделения, в помещениях с хорошей вентиляцией.

Потребители, питающиеся от аварийной сети:

Категория потребителей	Примеры
Аварийное освещение	Освещение шлюпочных палуб, коридоров, ЦПУ
Средства связи и навигации	Радиостанция, гирокомпас, лаг, эхолот
Противопожарные системы	Аварийный пожарный насос, система СО2
Рулевое устройство	Привод рулевой машины
Сигнализация	Аварийно-предупредительная сигнализация

Схема аварийной электростанции судна

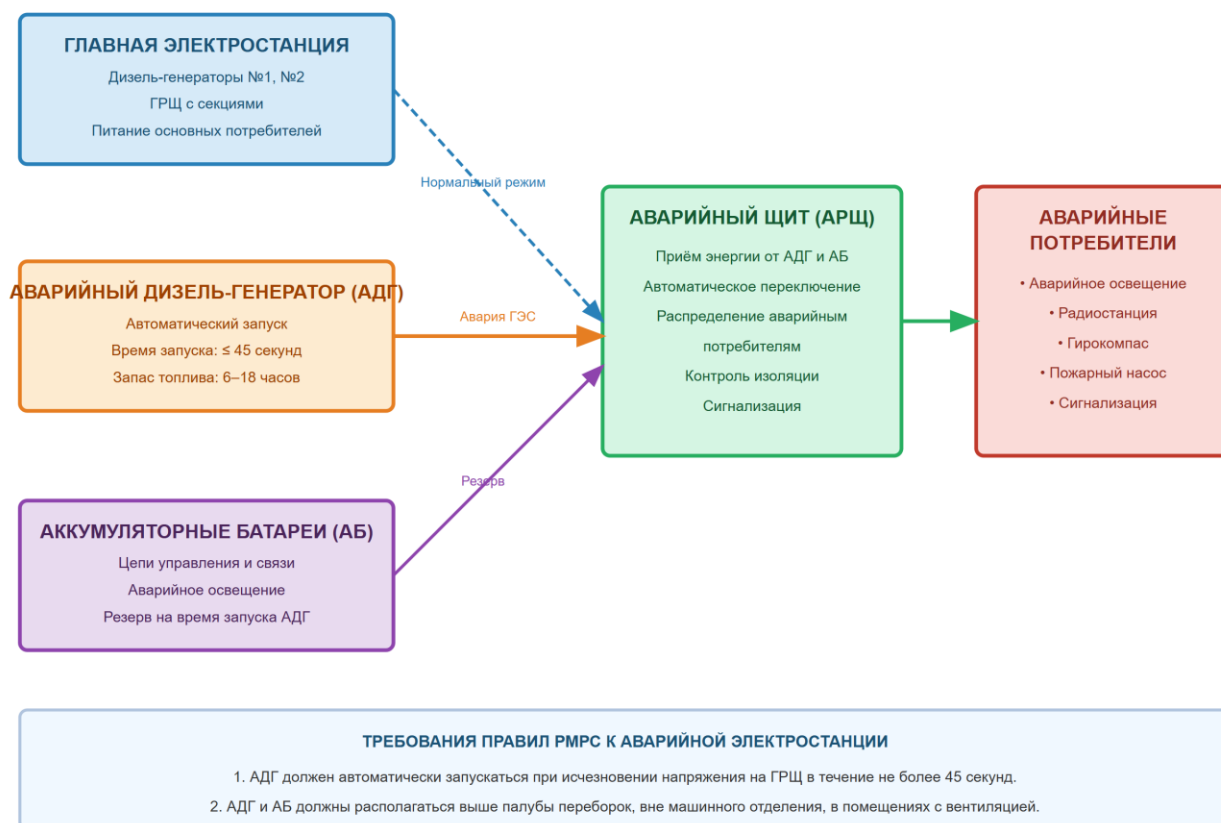


Рисунок 1. Схема аварийной электростанции судна

2.2. Аккумуляторные батареи как аварийный источник

Аккумуляторные батареи являются важным элементом аварийной электростанции. Они обеспечивают мгновенное (без временной задержки) питание потребителей при исчезновении напряжения, что особенно важно для цепей управления, средств связи и аварийной сигнализации.

Типы аккумуляторных батарей, применяемых на судах:

1. Кислотные (свинцово-кислотные) АБ:

- Электролит — раствор серной кислоты (H_2SO_4).
- Напряжение одного элемента: **2,0 В**.
- Преимущества: низкая стоимость, отработанная технология.
- Недостатки: выделение водорода при заряде, необходимость вентиляции, чувствительность к глубокому разряду.

2. Щелочные (никель-кадмиевые, никель-железные) АБ:

- Электролит — раствор щёлочи (KOH или NaOH).
- Напряжение одного элемента: **1,25–1,5 В**.
- Преимущества: высокая надёжность, большой срок службы, устойчивость к глубокому разряду.
- Недостатки: меньшая плотность энергии, более высокая стоимость.

Основные параметры АБ:

- **Ёмкость (С)** — количество электричества, которое батарея может отдать при полном разряде. Измеряется в ампер-часах (А·ч).
- **Номинальное напряжение** — суммарное напряжение последовательно соединённых элементов.
- **Ток заряда/разряда** — максимально допустимое значение тока.

Особенности эксплуатации АБ:

1. Регулярный контроль уровня электролита (для кислотных АБ).
2. Периодический заряд (подзаряд) для компенсации саморазряда.
3. Контроль плотности электролита.
4. Обеспечение вентиляции помещения (для удаления водорода).
5. Защита от коротких замыканий.
6. Контроль температуры (оптимально +15...+25°C).

Схема подключения АБ к аварийной сети:

АБ подключается к аварийному щиту через автоматический выключатель и выпрямитель (для заряда). При исчезновении напряжения от ГРЩ или АДГ, АБ автоматически берёт на себя нагрузку аварийной сети.

Схема подключения аккумуляторной батареи к аварийной сети



Рисунок 2. Схема подключения аккумуляторной батареи к аварийной сети

2.3. Электроснабжение судов от береговых электрических сетей

Во время стоянки судна в порту или на судоремонтном заводе возникает необходимость в обеспечении электроэнергией судовых потребителей без запуска судовых генераторов. Для этой цели используется береговая электрическая сеть.

Назначение питания с берега:

- Обеспечение освещения и вентиляции при стоянке.
- Питание ремонтного оборудования.
- Заряд аккумуляторных батарей.
- Подготовка судна к выходу в рейс без расхода моторесурса судовых дизель-генераторов.

Требования к береговому питанию:

1. Напряжение и частота береговой сети должны соответствовать судовым параметрам (380 В / 440 В, 50 Гц / 60 Гц).
2. Сечение питающего кабеля должно обеспечивать необходимую мощность.
3. Кабельный ввод должен иметь водозащищённое исполнение.
4. Должен быть обеспечен контроль чередования фаз.

Схема подключения судна к береговой сети:

Береговая сеть подключается к ГРЩ через специальный **щит питания с берега**. Для защиты от ошибок при подключении применяются:

- автомат защиты;
- реле контроля чередования фаз;
- сигнальные лампы наличия напряжения.

Порядок подключения к береговой сети:

1. Обесточить ГРЩ (отключить судовые генераторы).
2. Проверить состояние кабеля и разъёмов.
3. Подключить береговой кабель к щиту питания с берега.
4. Проверить чередование фаз (при неправильном чередовании — поменять две фазы).
5. Подать напряжение на ГРЩ через автомат берегового питания.
6. Проконтролировать параметры (напряжение, ток, частоту).

Меры безопасности:

- Работы выполняются только квалифицированным персоналом.
- Перед подключением убедиться в отсутствии напряжения на подключаемых клеммах.
- Не допускать попадания воды на разъёмы.
- При грозе отключить береговое питание.
- После отключения берегового питания кабель должен быть отсоединён и убран.



Рисунок 3. Схема подключения судна к береговой электрической сети

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Российский морской регистр судоходства.** Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». — СПб.: РМРС, 2024.
2. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с. (Разделы 4, 10).
3. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000.
4. **Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДНВ/STCW) с поправками.** — СПб.: ЦНИИМФ, 2020. — Глава III, Таблица A-III/7.
5. **ГОСТ Р 50571.5-2011.** Электроустановки низковольтные. Требования к специальным электроустановкам.

4. Контрольные вопросы к Лекции №4

1. Дайте определение аварийного источника электроэнергии.
2. Перечислите основные виды аварийных источников электроэнергии на судах.
3. Каково назначение аварийного дизель-генератора (АДГ)?
4. Какое максимальное время автоматического запуска АДГ допускается Правилами РМРС?
5. Какой запас топлива должен быть у АДГ для пассажирских и грузовых судов?
6. Перечислите основные категории потребителей, питающихся от аварийной сети.
7. Какие типы аккумуляторных батарей применяются на судах?
8. Каково напряжение одного элемента кислотной аккумуляторной батареи?
9. Каково напряжение одного элемента щелочной аккумуляторной батареи?
10. Что такое ёмкость аккумуляторной батареи и в чём она измеряется?
11. Перечислите особенности эксплуатации аккумуляторных батарей.
12. Для чего применяется электроснабжение судна от береговой сети?
13. Через какое устройство осуществляется подключение береговой сети к ГРЩ?
14. Перечислите порядок подключения судна к береговой сети.
15. Почему необходимо проверять чередование фаз при подключении берегового питания?
16. Какие меры безопасности необходимо соблюдать при работе с береговым питанием?
17. Чем отличается аварийная электростанция от главной?
18. Что такое аварийный распределительный щит (АРЩ)?
19. Почему аккумуляторные батареи требуют вентиляции помещения?
20. Может ли судно во время стоянки питаться от береговой сети с частотой 60 Гц, если судовая сеть рассчитана на 50 Гц? Обоснуйте ответ.

ЛЕКЦИЯ №5

Тема: Защитные средства, указатели напряжения и контроль изоляции в судовых электроустановках

Тип лекции: Информационная (установочная) с элементами визуализации.

Продолжительность: 1,5 академических часа (объединяет разделы 11, 13, 14 РПД).

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Сформировать у обучающихся системные знания о защитных средствах, применяемых при обслуживании судового электрооборудования, приборах для проверки наличия или отсутствия напряжения, а также методике контроля сопротивления изоляции.

Задачи:

1. Изучить классификацию и назначение защитных электрических средств.
2. Рассмотреть требования безопасности, предъявляемые к защитным средствам, и порядок их испытаний.
3. Изучить устройство и принцип действия указателей высокого и низкого напряжения.
4. Освоить методику измерения сопротивления изоляции с помощью мегомметра.
5. Изучить минимально допустимые значения сопротивления изоляции для судового электрооборудования.

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПКС-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт электрического и электронного оборудования в соответствии с международными и национальными требованиями);
- ПКС-1 (Способен осуществлять безопасное техническое использование и техническое обслуживание судового электрооборудования...).

Базовые термины и определения:

- **Защитное средство** — средство, предназначенное для предотвращения или уменьшения воздействия на работающего опасных и вредных производственных факторов.
- **Основное защитное средство** — средство, изоляция которого длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и которое позволяет прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением.
- **Дополнительное защитное средство** — средство, которое само по себе не обеспечивает защиту от поражения током при данном напряжении, но усиливает действие основного средства.
- **Указатель напряжения** — прибор для определения наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях.
- **Мегомметр** — прибор для измерения больших значений сопротивления (изоляции), измеряемых в мегаомах (МОм).

2. Информационная лекция

2.1. Классификация и назначение защитных электрических средств

Работы в судовых электроустановках сопряжены с высоким риском поражения электрическим током. Для защиты персонала применяются специальные защитные средства, которые делятся на **основные** и **дополнительные**.

Основные защитные средства — средства, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением. К ним относятся:

1. **Диэлектрические перчатки** — защищают руки от поражения током. Применяются при работе в электроустановках до 1000 В как основное средство, свыше 1000 В — как дополнительное. Перед применением проверяются на целостность (отсутствие проколов, трещин).
2. **Инструмент с изолирующими рукоятками** (отвёртки, плоскогубцы, бокорезы) — применяется при работе в электроустановках до 1000 В. Изоляция рукояток должна быть целой, без трещин и повреждений.
3. **Указатели напряжения** — переносные приборы для проверки наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях.
4. **Изолирующие штанги** — применяются в электроустановках свыше 1000 В для операций с разъединителями, проверки отсутствия напряжения, наложения заземления.

Дополнительные защитные средства — средства, которые сами по себе не обеспечивают полной защиты при данном напряжении, но усиливают действие основных средств. К ним относятся:

1. **Диэлектрические коврики** — укладываются перед распределительными щитами для изоляции человека от корпуса судна (металлической палубы).
2. **Диэлектрические боты и галоши** — защищают ноги от поражения током при шаговом напряжении.
3. **Диэлектрические подставки** — деревянные решётчатые конструкции на изоляторах, устанавливаемые перед щитами.
4. **Плакаты и знаки безопасности** — предупреждающие, запрещающие, предписывающие и указательные. Наиболее важные: «НЕ ВКЛЮЧАТЬ — РАБОТАЮТ ЛЮДИ», «ЗАЗЕМЛЕНО», «ИСПЫТАНИЕ».

Требования к защитным средствам:

1. Все защитные средства должны проходить периодические испытания в установленные сроки.
2. Диэлектрические перчатки испытываются 1 раз в 6 месяцев напряжением 6 кВ в течение 1 минуты.
3. Инструмент с изолирующими рукоятками испытывается 1 раз в год.
4. Диэлектрические коврики и подставки осматриваются 1 раз в 3 года.
5. На защитных средствах после испытаний ставится штамп с датой следующего испытания. Запрещается пользоваться защитными средствами с истёкшим сроком испытания.

2.2. Устройство и принципиальные схемы указателей напряжения

Указатели напряжения предназначены для проверки наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях. Это критически важная операция, выполняемая перед началом любых работ со снятием напряжения.

Классификация указателей напряжения:

1. Указатели низкого напряжения (до 1000 В):

- **Однополюсные (токоискатели)** — работают по принципу протекания ёмкостного тока через тело человека. Применяются только в сетях переменного тока.
- **Двухполюсные** — содержат два щупа, соединённых гибким проводом. Внутри корпуса расположены неоновая лампа или светодиод и ограничивающий резистор. Применяются в сетях переменного и постоянного тока.

2. Указатели высокого напряжения (свыше 1000 В):

- Работают по принципу протекания ёмкостного тока через указатель без непосредственного контакта с токоведущей частью.
- Состоят из изолирующей штанги, рабочей части с сигнальным элементом и рукоятки.
- При приближении к токоведущей части, находящейся под напряжением, возникает свечение или звуковой сигнал.

Порядок проверки указателя перед применением:

1. Визуальный осмотр на отсутствие механических повреждений.
2. Проверка исправности на заведомо работающей цепи (контрольная проверка).
3. Проверка отсутствия напряжения на отключённой цепи.
4. Повторная проверка исправности указателя после проверки (для исключения ложного результата).

Меры безопасности при работе с указателями:

- Для указателей низкого напряжения обязательно использование диэлектрических перчаток.
- Для указателей высокого напряжения обязательным является использование диэлектрических перчаток и изолирующей штанги.
- Запрещается заземлять указатели напряжения, так как это создаёт опасность короткого замыкания.

Устройство указателей напряжения

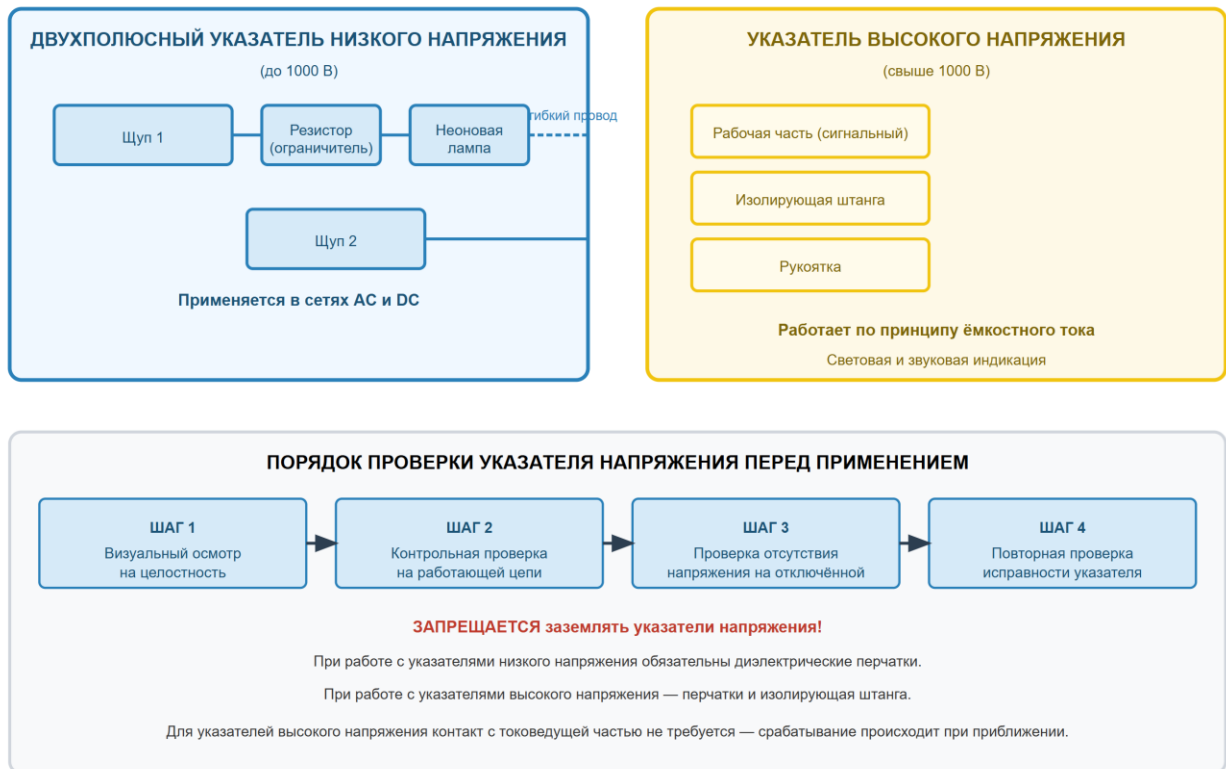


Рисунок 2. Устройство указателей напряжения и порядок их проверки

2.3. Контроль сопротивления изоляции РУ и электрических сетей

Сопротивление изоляции — важнейший параметр, характеризующий состояние электрооборудования. Снижение сопротивления изоляции ниже допустимого уровня может привести к короткому замыканию, пожару или поражению электрическим током.

Назначение контроля изоляции:

- Предотвращение коротких замыканий.
- Защита персонала от поражения током при прикосновении к корпусу.
- Оценка состояния электрооборудования перед вводом в эксплуатацию и после ремонта.
- Выявление скрытых дефектов (увлажнение, загрязнение, старение изоляции).

Мегомметр — прибор для измерения сопротивления изоляции

Мегомметр предназначен для измерения больших значений сопротивления (от сотен килоом до десятков гигаом). В отличие от омметра, мегомметр генерирует испытательное напряжение от собственного источника (генератора или встроенного преобразователя).

Типы мегомметров:

1. **С ручным генератором (динамо-машиной)** — классический тип, не требует источников питания. Вращение рукоятки создаёт испытательное напряжение.
2. **Электронные** — с встроенным преобразователем, питающимся от батарей. Удобны в использовании, имеют цифровую индикацию.

Порядок измерения сопротивления изоляции:

1. Убедиться в отсутствии напряжения на испытуемом объекте.
2. Проверить исправность мегомметра (при разомкнутых щупах сопротивление = ∞ ; при замкнутых = 0).
3. Подключить щуп «ЗЕМЛЯ» к корпусу (заземлению), щуп «ЛИНИЯ» — к испытуемой токоведущей части.
4. Вращать рукоятку генератора (или нажать кнопку) до достижения номинального напряжения.
5. Считать показания со шкалы.
6. После измерения разрядить испытуемую цепь на корпус (снять ёмкостный заряд).

Минимально допустимые значения сопротивления изоляции для судового электрооборудования:

Оборудование	Номинальное напряжение	Минимально допустимое сопротивление
Силовые кабели	до 500 В	$\geq 0,5$ МОм
Силовые кабели	свыше 500 В	$\geq 1,0$ МОм
Электродвигатели	до 500 В	$\geq 1,0$ МОм
Электродвигатели	свыше 500 В	$\geq 1,0$ МОм на 1 кВ
Распределительные щиты	до 500 В	$\geq 1,0$ МОм
Цепи управления	до 100 В	$\geq 0,5$ МОм

Меры безопасности при измерении сопротивления изоляции:

- Измерения выполняются только на отключённом оборудовании.
- Во время измерения запрещается прикасаться к щупам и испытуемым частям.
- После измерения необходимо разрядить ёмкостные элементы.
- В помещениях с взрывоопасной атмосферой измерения проводятся только с разрешения ответственного лица.

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Российский морской регистр судоходства.** Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». — СПб.: РМРС, 2024.
2. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с. (Разделы 11, 13, 14).
3. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭСЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000.
4. **Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДНВ/STCW) с поправками.** — СПб.: ЦНИИМФ, 2020. — Глава III, Таблица А-III/7.

5. **ПОТ Р М-016-2001.** Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.
 6. **ГОСТ 12.4.011-89.** Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
-

4. Контрольные вопросы к Лекции №5

1. Дайте определение защитного средства.
2. Чем отличаются основные защитные средства от дополнительных?
3. Перечислите основные защитные средства, применяемые в судовых электроустановках.
4. Перечислите дополнительные защитные средства.
5. С какой периодичностью испытываются диэлектрические перчатки?
6. Что проверяется при визуальном осмотре диэлектрических перчаток перед применением?
7. Для чего предназначены плакаты безопасности? Приведите примеры.
8. Что такое указатель напряжения и для чего он предназначен?
9. Чем отличается однополюсный указатель от двухполюсного?
10. Как устроен двухполюсный указатель низкого напряжения?
11. По какому принципу работает указатель высокого напряжения?
12. Перечислите порядок проверки указателя напряжения перед применением.
13. Почему запрещается заземлять указатели напряжения?
14. Какие защитные средства обязательны при работе с указателем высокого напряжения?
15. Что такое мегомметр и для чего он предназначен?
16. Какие типы мегомметров существуют?
17. Перечислите порядок измерения сопротивления изоляции.
18. Каково минимально допустимое сопротивление изоляции силового кабеля до 500 В?
19. Каково минимально допустимое сопротивление изоляции электродвигателя до 500 В?
20. Почему после измерения сопротивления изоляции необходимо разрядить цепь на корпус?

ЛЕКЦИЯ №6

Тема: Сушка электрических машин и определение мест повреждения кабельных линий

Тип лекции: Информационная (установочная) с элементами визуализации.

Продолжительность: 1 академический час (объединяет разделы 7 и 12 РПД).

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Сформировать у обучающихся системные знания о методах восстановления работоспособности электрических машин после увлажнения изоляции и способах определения мест повреждения судовых кабельных линий.

Задачи:

1. Изучить причины снижения сопротивления изоляции электрических машин и случаи, требующие их сушки.
2. Рассмотреть основные способы сушки электрических машин в судовых условиях.
3. Освоить схемы включения обмоток для сушки электрическим током.
4. Изучить виды повреждений кабельных линий и методы их обнаружения.
5. Рассмотреть практическое применение мостовых схем для точного определения места повреждения.

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПКС-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт электрического и электронного оборудования в соответствии с международными и национальными требованиями);
- ПКС-9 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами).

Базовые термины и определения:

- **Сушка электрической машины** — технологический процесс удаления влаги из изоляции обмоток с целью восстановления её диэлектрических свойств.
- **Сопротивление изоляции** — электрическое сопротивление, оказываемое изоляцией протекающему через неё току.
- **Короткое замыкание (КЗ)** — электрическое соединение двух точек цепи с разными потенциалами, не предусмотренное конструкцией и нарушающее нормальную работу установки.
- **Обрыв жилы** — нарушение целостности токопроводящей жилы кабеля.
- **Заплывающий пробой** — повреждение изоляции, проявляющееся только при повышенном напряжении.
- **Петля Муррея** — мостовая схема для точного определения места повреждения изоляции кабеля.

2. Информационная лекция

2.1. Сушка электрических машин: причины и необходимость

Сопротивление изоляции обмоток электрических машин является важнейшим показателем их технического состояния. В процессе эксплуатации, особенно в судовых условиях, изоляция подвергается воздействию влаги, солей, масла и перепадов температур. Увлажнение изоляции приводит к резкому снижению её сопротивления, что создаёт опасность пробоя, короткого замыкания и поражения персонала током.

Случаи, требующие сушки электрических машин:

1. **Затопление отсека** — попадание морской воды внутрь машины.
2. **Длительное хранение или бездействие** — нахождение машины в неработающем состоянии во влажной атмосфере.
3. **Резкое снижение сопротивления изоляции** — если измеренное значение ниже минимально допустимого (менее 1 МОм для машин до 500 В).
4. **После мойки или очистки** — попадание воды или моющих растворов на обмотки.
5. **После ремонта** — если обмотки подвергались воздействию влаги.

Признаки увлажнения изоляции:

- Снижение сопротивления изоляции ниже нормы при измерении мегомметром.
- Появление запаха сырости или видимых следов влаги на обмотках.
- Повышенный ток утечки.

Опасность эксплуатации машины с увлажнённой изоляцией:

- Вероятность пробоя изоляции и короткого замыкания.
- Поражение персонала электрическим током при прикосновении к корпусу.
- Ускоренное старение и разрушение изоляции.

2.2. Способы сушки электрических машин

В судовых условиях применяются несколько способов сушки электрических машин. Выбор конкретного способа зависит от типа машины, степени увлажнения, наличия оборудования и условий.

Способы сушки:

1. Сушка внешним обогревом (тепловая сушка):

- Машина помещается в камеру или обдувается горячим воздухом от калорифера, ламп накаливания или электронагревателей.
- Температура воздуха не должна превышать +90°C для изоляции класса А и +110°C для изоляции класса В.
- Простота и безопасность.
- Недостаток: большая длительность процесса (несколько суток).

2. Индукционная сушка (сушка потерями в стали):

- На корпус статора наматывается намагничивающая обмотка, питаемая переменным током.
- Вихревые токи, возникающие в стали статора, нагревают машину изнутри.
- Эффективна для крупных машин.

- Требуется расчёт числа витков намагничивающей обмотки.

3. Сушка током (электрическая сушка):

- Через обмотки машины пропускается постоянный или переменный ток, который нагревает проводники и испаряет влагу из изоляции.
- Наиболее распространённый способ в судовых условиях.
- Ток сушки обычно составляет 50–60% от номинального тока машины.
- Ротор при сушке должен быть заторможен (для машин постоянного тока) или вращаться с пониженной скоростью.

Схемы включения обмоток для сушки током:

- **Сушка обмотки статора трёхфазного асинхронного двигателя:**
 - Обмотки соединяются последовательно и подключаются к источнику пониженного напряжения (через сварочный трансформатор или резистор).
- **Сушка обмотки якоря машины постоянного тока:**
 - Обмотка якоря питается от источника постоянного тока.
 - Последовательно с якорем включается реостат для регулировки тока.

Меры безопасности при сушке:

- Сушка производится при снятом напряжении основной сети.
- Корпус машины должен быть заземлён.
- Температура обмоток контролируется термометром или термопарой.
- Во время сушки периодически измеряется сопротивление изоляции.
- Сушка считается законченной, когда сопротивление изоляции достигнет нормы и будет стабильным в течение 2–3 часов.

2.3. Виды повреждений кабельных линий

Судовые кабельные линии работают в тяжёлых условиях: вибрация, влажность, перепады температур, механические воздействия. Повреждения кабелей являются одной из наиболее частых причин отказов электрооборудования.

Основные виды повреждений кабелей:

1. **Обрыв жилы** — нарушение целостности токопроводящей жилы. Причины: механическое повреждение, усталость металла при вибрации, коррозия. Признак: полное исчезновение тока в цепи.
2. **Короткое замыкание (КЗ)** — соединение жил между собой или жилы с корпусом. Причины: повреждение изоляции, попадание влаги, старение изоляции. Признак: срабатывание защитных аппаратов.
3. **Замыкание на корпус (землю)** — соединение жилы с металлическим корпусом судна. Наиболее опасный вид повреждения, так как создаёт угрозу поражения током.
4. **Заплывающий пробой** — повреждение изоляции, которое проявляется только при повышенном напряжении (при рабочем напряжении изоляция сохраняет свойства). Обнаруживается только специальными методами.
5. **Увлажнение изоляции** — снижение сопротивления изоляции ниже нормы без полного пробоя. Причина: попадание влаги через трещины в оболочке.

2.4. Методы определения мест повреждения кабеля

Для определения места повреждения кабельной линии применяются различные методы, выбор которых зависит от вида повреждения.

1. Магнитный метод (для определения обрыва жилы):

- Основан на регистрации изменения магнитного поля вдоль кабеля.
- По кабелю пропускается переменный ток.
- Специальный датчик (рамка) перемещается вдоль трассы кабеля.
- В месте обрыва магнитное поле резко изменяется.

2. Коммутационный метод (для заплывающего пробоя):

- Основан на разряде конденсатора в повреждённую жилу.
- В месте пробоя возникает искровой разряд, создающий звуковой импульс.
- Оператор с помощью стетоскопа или датчика определяет место пробоя по звуку.

3. Индукционный метод (для замыкания на корпус):

- По повреждённой жиле пропускается переменный ток высокой частоты.
- Вдоль кабеля перемещается катушка-датчик.
- В месте замыкания на корпус сигнал резко уменьшается.

4. Мостовой метод (петля Муррея) — для точного определения места замыкания:

- Наиболее точный метод, применяемый в судовых условиях.
- Основан на сравнении сопротивлений двух участков кабеля.
- Для измерения используется мост постоянного тока.
- Метод позволяет определить расстояние до места повреждения с точностью до нескольких сантиметров.

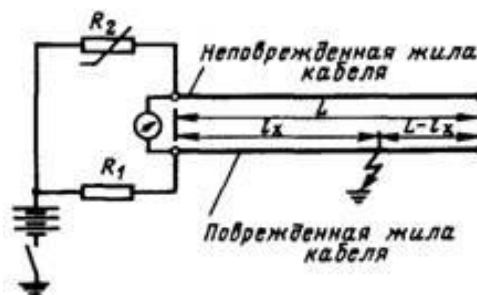


Рисунок 1. Схема петли Муррея

При уравнивании моста выполняется соотношение:

$$L_x = (R_2 / (R_1 + R_2)) \cdot 2L$$

где:

- L_x — расстояние до места повреждения;
- R_1, R_2 — сопротивления плеч моста;
- L — полная длина кабеля.

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Российский морской регистр судоходства.** Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». — СПб.: РМРС, 2024.
2. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с. (Разделы 7, 12).
3. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000.
4. **Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДНВ/STCW) с поправками.** — СПб.: ЦНИИМФ, 2020. — Глава III, Таблица А-III/7.
5. **ГОСТ 183-74.** Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия.
6. **ГОСТ Р МЭК 60034-1-2007.** Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения и рабочие характеристики.

4. Контрольные вопросы к Лекции №6

1. Дайте определение сушки электрической машины.
2. Перечислите случаи, требующие сушки электрических машин.
3. Какие признаки указывают на увлажнение изоляции?
4. Каковы опасности эксплуатации машины с увлажнённой изоляцией?
5. Перечислите основные способы сушки электрических машин.
6. Какова максимально допустимая температура при сушке внешним обогревом для изоляции класса А?
7. Какова максимально допустимая температура при сушке внешним обогревом для изоляции класса В?
8. В чём сущность индукционной сушки?
9. В чём сущность сушки током?
10. Какое значение тока сушки устанавливается (в процентах от номинального)?
11. Как соединяются обмотки статора асинхронного двигателя при сушке током?
12. В каком состоянии должен находиться ротор машины постоянного тока при сушке?
13. Перечислите меры безопасности при сушке электрических машин.
14. Когда сушка считается законченной?
15. Перечислите основные виды повреждений кабельных линий.
16. Что такое заплывающий пробой?
17. Какой метод применяется для определения обрыва жилы кабеля?
18. Какой метод применяется для обнаружения заплывающего пробоя?
19. В чём сущность индукционного метода?
20. Напишите формулу петли Муррея и поясните все величины.

ЛЕКЦИЯ №7

Тема: Электрическое освещение судна: световые величины, световые приборы и расчёт освещённости

Тип лекции: Информационная (установочная) с элементами визуализации.

Продолжительность: 0,5 академического часа (лекция) + 4 часа практической работы (ПР №4 «Расчёт искусственного освещения»).

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Сформировать у обучающихся системные знания о принципах построения системы электрического освещения судна, типах источников света и методике расчёта искусственного освещения судовых помещений.

Задачи:

1. Изучить основные световые величины и единицы их измерения.
2. Рассмотреть устройство и назначение судовых световых приборов.
3. Изучить схемы включения различных типов источников света.
4. Освоить методику расчёта освещённости помещения методом коэффициента использования светового потока.
5. Подготовить обучающихся к выполнению Практической работы №4 «Расчёт искусственного освещения».

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПК-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт электрического и электронного оборудования...);
- ПК-1 (Способен осуществлять безопасное техническое использование и техническое обслуживание судового электрооборудования...).

Базовые термины и определения:

- **Световой поток (Φ)** — мощность светового излучения, оцениваемая по зрительному ощущению. Единица измерения — люмен (лм).
- **Сила света (I)** — пространственная плотность светового потока в данном направлении. Единица измерения — кандела (кд).
- **Освещённость (E)** — поверхностная плотность светового потока, падающего на поверхность. Единица измерения — люкс (лк).
- **Яркость (L)** — поверхностная плотность силы света в данном направлении. Единица измерения — кандела на квадратный метр (кд/м²).
- **Светильник** — световой прибор, состоящий из источника света и осветительной арматуры, перераспределяющей световой поток.
- **Коэффициент использования светового потока (η)** — отношение полезного светового потока, достигшего рабочей поверхности, к суммарному потоку всех ламп.

2. Информационная лекция

2.1. Основные световые величины

Для количественной оценки освещения применяются специальные светотехнические величины, которые необходимо знать судовому электрику при проектировании, эксплуатации и расчёте систем освещения.

1. Световой поток (Φ):

- **Определение:** мощность светового излучения, оцениваемая по зрительному ощущению человеческого глаза.
- **Единица измерения:** люмен (лм).
- **Пример:** лампа накаливания мощностью 100 Вт создаёт световой поток около 1300 лм; люминесцентная лампа 40 Вт — около 3000 лм; светодиодная лампа 15 Вт — около 1500 лм.

2. Сила света (I):

- **Определение:** пространственная плотность светового потока в данном направлении.
- **Единица измерения:** кандела (кд).
- **Формула:** $I = \Phi / \Omega$, где Ω — телесный угол (стерадиан, ср).
- **Применение:** используется для характеристики направленных источников света (прожекторов, сигнальных огней).

3. Освещённость (E):

- **Определение:** поверхностная плотность светового потока, падающего на поверхность.
- **Единица измерения:** люкс (лк).
- **Формула:** $E = \Phi / S$, где S — площадь освещаемой поверхности (м^2).
- **Нормируемые значения на судах:** от 20–30 лк (машинные отделения, коридоры) до 300–500 лк (ЦПУ, штурманская рубка, операционные).

4. Яркость (L):

- **Определение:** поверхностная плотность силы света в данном направлении.
- **Единица измерения:** кандела на квадратный метр ($\text{кд}/\text{м}^2$).
- **Значение:** характеризует светящуюся поверхность; чрезмерная яркость вызывает ослепление.

2.2. Световые приборы: устройство и назначение

Световой прибор (светильник) состоит из источника света и осветительной арматуры. Арматура предназначена для:

- перераспределения светового потока (направления света в нужную зону);
- защиты глаз от слепящего действия источника;
- защиты источника от механических повреждений, влаги, пыли;
- декоративного оформления.

Типы судовых светильников по назначению:

1. **Светильники общего освещения** — равномерно освещают помещение.
2. **Светильники местного освещения** — создают повышенную освещённость на рабочем месте (станки, верстаки).
3. **Аварийные светильники** — питаются от аварийной сети, обозначаются красной буквой «А» на корпусе.
4. **Переносные светильники** — для временного освещения; питаются напряжением не выше 12 В или 24 В (в особо опасных помещениях).
5. **Взрывозащищённые светильники** — для освещения опасных зон (танкеры, аккумуляторные).
6. **Сигнальные и отличительные огни** — ходовые (топовый, бортовые, кормовой), якорные, клотиковый.

Типы источников света:

Тип источника	Принцип действия	Преимущества	Недостатки
Лампа накаливания	Нагрев нити до свечения	Простота, низкая стоимость, мгновенное включение	Низкий КПД (5–10%), малый срок службы
Люминесцентная лампа	Газовый разряд + люминофор	Высокая светоотдача, экономичность	Требуется ПРА, чувствительна к температуре
Светодиодная лампа (LED)	Электролюминесценция полупроводников	Максимальная эффективность, длительный срок службы, виброустойчивость	Более высокая стоимость (окупается)

2.3. Схемы включения различных источников света

Схема включения лампы накаливания:

Лампа накаливания включается непосредственно в сеть через выключатель. Схема простейшая: фаза — выключатель — лампа — ноль. Для защиты от перегрузки в цепи устанавливается автоматический выключатель.

Схема включения люминесцентной лампы:

Люминесцентная лампа требует специальной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА), включающей:

- **Дроссель** — ограничивает ток разряда и создаёт импульс зажигания.
- **Стартер** — коммутирующее устройство, обеспечивающее предварительный подогрев электродов и разрыв цепи для возникновения импульса.

Схема включения светодиодной лампы:

Светодиодная лампа содержит встроенный драйвер (преобразователь), поэтому подключается непосредственно к сети через выключатель, аналогично лампе накаливания. Драйвер обеспечивает стабилизацию тока через светодиоды.

Схемы включения источников света

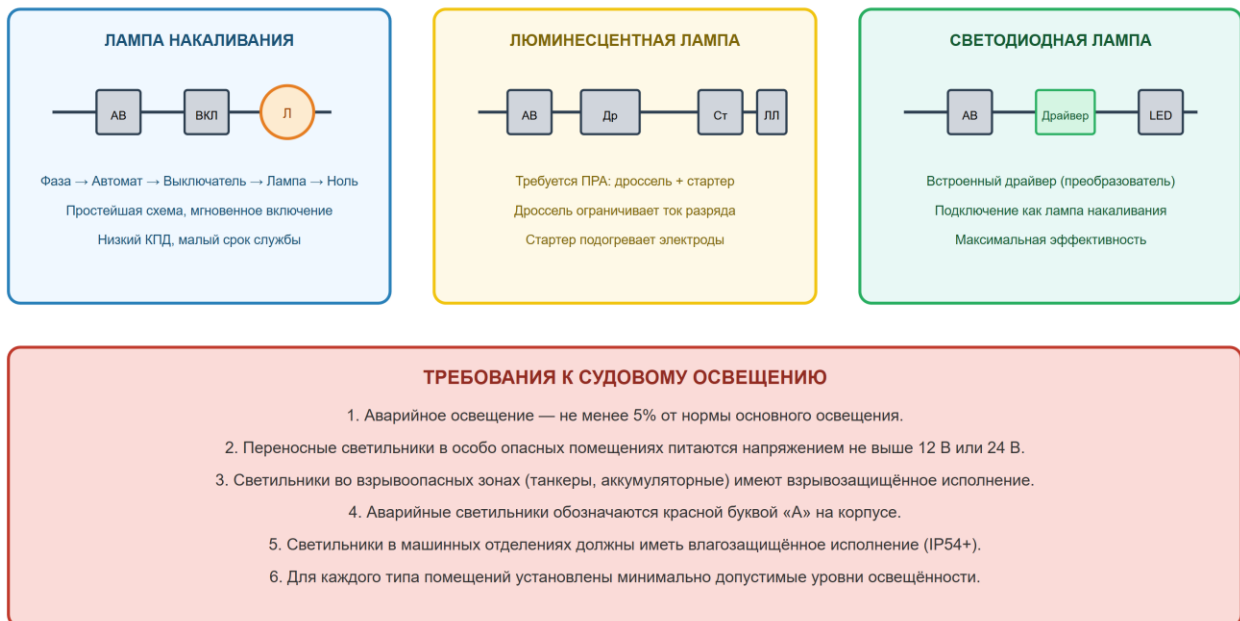


Рисунок 2. Схемы включения источников света и требования к судовому освещению

2.4. Расчёт освещённости помещения методом коэффициента использования светового потока

Для проектирования системы освещения и подбора количества светильников применяется метод коэффициента использования светового потока.

Основная расчётная формула:

$$N = (E \cdot S \cdot Z \cdot Kз) / (\Phi \cdot \eta \cdot n)$$

где:

- **N** — количество светильников (шт.);
- **E** — нормируемая освещённость (лк);
- **S** — площадь помещения (м²);
- **Z** — коэффициент неравномерности освещения (принимается 1,1–1,2);
- **Kз** — коэффициент запаса, учитывающий старение ламп и загрязнение светильников (принимается 1,3–1,5);
- **Φ** — световой поток одной лампы (лм);
- **η** — коэффициент использования светового потока (зависит от типа светильника, индекса помещения и коэффициентов отражения);
- **n** — число ламп в одном светильнике.

Индекс помещения (i):

$$i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B))$$

где:

- **A** — длина помещения (м);
- **B** — ширина помещения (м);
- **h** — расчётная высота подвеса светильника над рабочей поверхностью (м).

Коэффициент использования светового потока (η) выбирается из справочных таблиц в зависимости от:

- типа светильника;
- индекса помещения (i);
- коэффициентов отражения потолка (ρ_p), стен (ρ_c) и рабочей поверхности (ρ_r).

Алгоритм расчёта:

1. Определить нормируемую освещённость E для данного помещения.
2. Рассчитать площадь помещения $S = A \cdot B$.
3. Выбрать тип светильника и лампы, определить световой поток лампы Φ .
4. Рассчитать индекс помещения i .
5. По таблицам определить коэффициент использования η .
6. Подставить все значения в формулу и определить количество светильников N .
7. Округлить полученное значение до ближайшего большего целого числа.

Пример расчёта:

- Помещение: ЦПУ, длина $A = 6$ м, ширина $B = 4$ м.
- Нормируемая освещённость $E = 300$ лк.
- Светильники с люминесцентными лампами: $\Phi = 3000$ лм (одна лампа), $n = 2$ (две лампы в светильнике).
- Высота подвеса $h = 2,5$ м.
- Коэффициенты: $Z = 1,2$; $K_z = 1,5$; $\eta = 0,5$.

Расчёт:

- Площадь: $S = 6 \cdot 4 = 24 \text{ м}^2$.
- Индекс помещения: $i = (6 \cdot 4) / (2,5 \cdot (6 + 4)) = 24 / 25 = 0,96 \approx 1,0$.
- Количество светильников: $N = (300 \cdot 24 \cdot 1,2 \cdot 1,5) / (3000 \cdot 0,5 \cdot 2) = 12960 / 3000 = 4,32 \approx 5$ светильников.

Вывод: Для обеспечения нормируемой освещённости 300 лк в ЦПУ требуется 5 светильников с двумя люминесцентными лампами в каждом.

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Российский морской регистр судоходства.** Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». — СПб.: РМРС, 2024.
2. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с. (Раздел 15).
3. **Феоктистова Т.Г.** Безопасность жизнедеятельности. Расчёт производственного освещения. Методическое пособие. — М., 2013. — 62 с.
4. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000.
5. **ГОСТ 24940-96.** Здания и сооружения. Методы измерения освещённости.
6. **СНиП 23-05-95.** Естественное и искусственное освещение.

4. Контрольные вопросы к Лекции №7

1. Дайте определение светового потока. В каких единицах он измеряется?
2. Дайте определение силы света. В каких единицах она измеряется?
3. Дайте определение освещённости. В каких единицах она измеряется?
4. Напишите формулу, связывающую освещённость, световой поток и площадь.
5. Что такое светильник?
6. Перечислите типы судовых светильников по назначению.
7. Каким напряжением питаются переносные светильники в особо опасных помещениях?
8. Как обозначаются аварийные светильники?
9. Перечислите основные типы источников света.
10. Каковы преимущества светодиодных ламп?
11. Каковы недостатки люминесцентных ламп?
12. Какие элементы входят в пускорегулирующую аппаратуру люминесцентной лампы?
13. Какова функция дросселя в схеме люминесцентной лампы?
14. Какова функция стартера в схеме люминесцентной лампы?
15. Напишите формулу для расчёта количества светильников методом коэффициента использования светового потока.
16. Что такое коэффициент запаса и каково его значение?
17. Что такое коэффициент неравномерности освещения?
18. Напишите формулу для расчёта индекса помещения.
19. Какова нормируемая освещённость для ЦПУ?
20. Каковы нормы аварийного освещения по отношению к основному?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Тема: «Расчёт искусственного освещения судовых помещений»

Цель работы: Освоить методику расчёта искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока, научиться определять необходимое количество светильников и проверять соответствие освещённости нормативным требованиям.

Время выполнения: 4 академических часа.

Основные формулы:

Величина	Формула	Обозначения
Площадь помещения	$S = A \cdot B$	A — длина, м; B — ширина, м
Индекс помещения	$i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B))$	h — высота подвеса светильника, м
Количество светильников	$N = (E \cdot S \cdot Z \cdot K_z) / (\Phi \cdot \eta \cdot n)$	E — освещённость, лк; Z — коэф. неравномерности; K _з — коэф. запаса; Φ — поток лампы, лм; η — коэф. использования; n — число ламп в светильнике
Освещённость	$E = (N \cdot \Phi \cdot \eta \cdot n) / (S \cdot Z \cdot K_z)$	Обратная формула
Световой поток	$\Phi = (E \cdot S \cdot Z \cdot K_z) / (N \cdot \eta \cdot n)$	Расчёт требуемого потока

ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ

Задача 1. Расчёт количества светильников

Условие: Определите необходимое количество светильников N для освещения помещения. Результат округлите до ближайшего большего целого числа.

Вариант	Помещение	Длина А, м	Ширина В, м	Высота подвеса h, м	Норма осв. E, лк	Тип лампы	Св. поток Ф, лм	Число ламп n	Коэф. исп. η	Коэф. неравн. Z	Коэф. запаса Kз
1	Машинное отделение	12	8	3,5	75	Люминесцентная	3000	2	0,45	1,15	1,4
2	ЦПУ	6	4	2,5	300	Люминесцентная	3000	2	0,50	1,2	1,5
3	Коридор	15	2,5	2,8	30	Люминесцентная	2500	1	0,40	1,1	1,3
4	Штурманская рубка	8	5	3,0	500	Люминесцентная	4000	2	0,55	1,2	1,4
5	Каюта экипажа	4	3	2,4	100	Светодиодная	1500	1	0,45	1,1	1,3
6	Камбуз	6	5	2,8	150	Люминесцентная	3000	2	0,48	1,15	1,4
7	Мастерская	8	6	3,2	200	Люминесцентная	3500	2	0,50	1,2	1,4
8	Столовая команды	10	6	3,0	100	Светодиодная	2000	2	0,52	1,15	1,3
9	Прачечная	5	4	2,6	75	Люминесцентная	2500	2	0,42	1,1	1,3
10	Румпельное отделение	7	5	3,0	50	Люминесцентная	2000	1	0,38	1,1	1,4
11	Аварийный дизель-генератор	6	4	2,8	50	Светодиодная	1500	1	0,40	1,1	1,3
12	Электрощитовая	5	3	2,5	200	Люминесцентная	3000	2	0,50	1,2	1,4
13	Аккумуляторное помещение	4	3	2,2	30	Взрывозащ. ЛЛ	2000	1	0,35	1,1	1,5
14	Механическая мастерская	10	7	3,5	300	Светодиодная	2500	2	0,52	1,2	1,4
15	Гирокомпасный пост	5	4	2,6	150	Люминесцентная	2800	2	0,48	1,15	1,3
16	Медицинский пункт	4	3	2,4	300	Люминесцентная	3200	2	0,50	1,2	1,4
17	Пост управления грузовыми операциями	6	4	2,7	250	Светодиодная	2200	2	0,52	1,15	1,4
18	Коридор жилой палубы	20	2	2,5	30	Люминесцентная	2500	1	0,38	1,1	1,3
19	Насосное отделение	8	5	3,2	75	Люминесцентная	3000	2	0,45	1,15	1,4
20	Радиорубка	5	4	2,6	300	Люминесцентная	3500	2	0,50	1,2	1,4

Задача 2. Расчёт индекса помещения

Условие: Рассчитайте индекс помещения i для заданных размеров. По полученному значению определите, к какой категории относится помещение (малое $i < 0,7$; среднее $0,7 - 1,4$; большое $i > 1,4$).

Вариант	Длина А, м	Ширина В, м	Высота подвеса h, м
1	12	8	3,5
2	6	4	2,5
3	15	2,5	2,8
4	8	5	3,0
5	4	3	2,4
6	6	5	2,8
7	8	6	3,2
8	10	6	3,0
9	5	4	2,6
10	7	5	3,0
11	6	4	2,8
12	5	3	2,5
13	4	3	2,2
14	10	7	3,5
15	5	4	2,6
16	4	3	2,4
17	6	4	2,7
18	20	2	2,5
19	8	5	3,2
20	5	4	2,6

Задача 3. Расчёт фактической освещённости

Условие: В помещении установлено N светильников. Определите фактическую освещённость E и сравните её с нормативной. Сделайте вывод о достаточности освещения.

Вариант	Помещение	Площадь S, м ²	Кол-во свет. N	Св. поток Ф, лм	Число ламп n	Коэф. исп. η	Коэф. нерав. Z	Коэф. запаса Kз	Норма E, лк
1	Машинное отделение	96	6	3000	2	0,45	1,15	1,4	75
2	ЦПУ	24	5	3000	2	0,50	1,2	1,5	300
3	Коридор	37,5	4	2500	1	0,40	1,1	1,3	30
4	Штурманская рубка	40	6	4000	2	0,55	1,2	1,4	500
5	Каюта экипажа	12	3	1500	1	0,45	1,1	1,3	100
6	Камбуз	30	5	3000	2	0,48	1,15	1,4	150
7	Мастерская	48	6	3500	2	0,50	1,2	1,4	200
8	Столовая команды	60	6	2000	2	0,52	1,15	1,3	100
9	Прачечная	20	4	2500	2	0,42	1,1	1,3	75
10	Румпельное отделение	35	5	2000	1	0,38	1,1	1,4	50
11	Аварийный ДГ	24	4	1500	1	0,40	1,1	1,3	50
12	Электрощитовая	15	3	3000	2	0,50	1,2	1,4	200
13	Аккумуляторное	12	3	2000	1	0,35	1,1	1,5	30
14	Механическая мастерская	70	8	2500	2	0,52	1,2	1,4	300
15	Гирокомпасный пост	20	4	2800	2	0,48	1,15	1,3	150
16	Медицинский пункт	12	3	3200	2	0,50	1,2	1,4	300
17	Пост грузовых операций	24	4	2200	2	0,52	1,15	1,4	250
18	Коридор жилой палубы	40	4	2500	1	0,38	1,1	1,3	30
19	Насосное отделение	40	5	3000	2	0,45	1,15	1,4	75
20	Радиорубка	20	4	3500	2	0,50	1,2	1,4	300

Задача 4. Расчёт требуемого светового потока

Условие: Определите требуемый световой поток одной лампы Φ для обеспечения нормативной освещённости при заданном количестве светильников N . Выберите ближайшую стандартную лампу.

Вариант	Помещение	Площадь $S, \text{ м}^2$	Норма $E, \text{ лк}$	Кол- во свет. N	Число ламп n	Коэф. исп.я η	Коэф. нерав. Z	Коэф. запаса K_z
1	Коридор	37,5	30	5	1	0,40	1,1	1,3
2	Машинное отделение	96	75	8	2	0,45	1,15	1,4
3	ЦПУ	24	300	6	2	0,50	1,2	1,5
4	Каюта экипажа	12	100	3	1	0,45	1,1	1,3
5	Штурманская рубка	40	500	6	2	0,55	1,2	1,4
6	Камбуз	30	150	5	2	0,48	1,15	1,4
7	Мастерская	48	200	6	2	0,50	1,2	1,4
8	Столовая команды	60	100	6	2	0,52	1,15	1,3
9	Прачечная	20	75	4	2	0,42	1,1	1,3
10	Румпельное отделение	35	50	6	1	0,38	1,1	1,4
11	Аварийный ДГ	24	50	5	1	0,40	1,1	1,3
12	Электрощитовая	15	200	4	2	0,50	1,2	1,4
13	Аккумуляторное	12	30	4	1	0,35	1,1	1,5
14	Механическая мастерская	70	300	8	2	0,52	1,2	1,4
15	Гирокомпасный пост	20	150	5	2	0,48	1,15	1,3
16	Медицинский пункт	12	300	4	2	0,50	1,2	1,4
17	Пост грузовых операций	24	250	5	2	0,52	1,15	1,4
18	Коридор жилой палубы	40	30	6	1	0,38	1,1	1,3
19	Насосное отделение	40	75	6	2	0,45	1,15	1,4
20	Радиорубка	20	300	5	2	0,50	1,2	1,4

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЁТА

Отчёт по практической работе должен содержать:

1. **Титульную информацию:** название работы, ФИО студента, номер группы, номер варианта.
 2. **Цель работы.**
 3. **Решение задач** по следующему алгоритму:
 - выписать исходные данные из таблицы;
 - записать расчётную формулу;
 - подставить числовые значения;
 - произвести вычисление;
 - записать ответ с единицами измерения.
 4. **Вывод** по результатам работы (что научились рассчитывать, какие факторы влияют на количество светильников, почему важен правильный расчёт освещения).
-

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ

Задача 1 (количество светильников):

1. Рассчитать площадь: $S = A \cdot B$.
2. Рассчитать индекс помещения: $i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B))$.
3. Подставить все значения в формулу: $N = (E \cdot S \cdot Z \cdot Kз) / (\Phi \cdot \eta \cdot n)$.
4. Округлить результат до ближайшего большего целого числа.

Задача 2 (индекс помещения):

1. Подставить значения в формулу: $i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B))$.
2. Определить категорию помещения: $i < 0,7$ — малое; $0,7 \leq i \leq 1,4$ — среднее; $i > 1,4$ — большое.

Задача 3 (фактическая освещённость):

1. Подставить значения в формулу: $E = (N \cdot \Phi \cdot \eta \cdot n) / (S \cdot Z \cdot Kз)$.
2. Сравнить полученное значение с нормативным.
3. Сделать вывод: достаточно ли освещение.

Задача 4 (требуемый световой поток):

1. Подставить значения в формулу: $\Phi = (E \cdot S \cdot Z \cdot Kз) / (N \cdot \eta \cdot n)$.
2. Выбрать ближайшую стандартную лампу из ряда: 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 лм.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

Стандартный ряд светового потока ламп:

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм
Люминесцентная	18	1500
Люминесцентная	36	3000
Люминесцентная	58	4000
Светодиодная	10	1000
Светодиодная	15	1500
Светодиодная	20	2000
Светодиодная	25	2500
Лампа накаливания	60	750
Лампа накаливания	100	1300

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Оценка	Требования
«Отлично» (5)	Все 4 задачи решены верно, расчёты выполнены по алгоритму, оформление соответствует требованиям, выводы корректны. Допускается не более 1 арифметической ошибки.
«Хорошо» (4)	Верно решены 3 задачи, оформление соответствует требованиям. Допускается 1–2 незначительные ошибки в расчётах или выводах.
«Удовлетворительно» (3)	Верно решены 2 задачи. Расчёты выполнены, но имеются ошибки в применении формул или оформлении отчёта.
«Неудовлетворительно» (2)	Решено менее 2 задач, отсутствует понимание базовых формул расчёта освещения. Требуется повторная сдача работы.

ЛЕКЦИЯ №8

Тема: Заземление на судне и расчёт электрических сетей

Тип лекции: Информационная (установочная) с элементами визуализации.
Продолжительность: 2 академических часа (лекция) + 4 часа практической работы (ПР №3 «Расчёт электрических сетей»).

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Сформировать у обучающихся системные знания о видах заземления на судне, требованиях к заземляющим устройствам и методике расчёта электрических сетей по допустимому току и падению напряжения.

Задачи:

1. Изучить понятие «судовая земля» и виды заземления.
2. Рассмотреть требования Правил РМРС к защитному и рабочему заземлению.
3. Освоить методику выбора сечения кабеля по длительно допустимому току.
4. Научиться проверять кабельную линию на допустимое падение напряжения.
5. Подготовить обучающихся к выполнению Практической работы №3 «Расчёт электрических сетей».

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПКС-1 (Способен осуществлять безопасное техническое использование и техническое обслуживание судового электрооборудования...);
- ПКС-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт электрического и электронного оборудования...).

Базовые термины и определения:

- **Заземление** — преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.
- **Судовая земля** — металлический корпус судна, используемый в качестве общего проводника для заземления.
- **Защитное заземление** — заземление, выполняемое для обеспечения электробезопасности персонала.
- **Рабочее заземление** — заземление какой-либо точки токоведущих частей, необходимое для обеспечения нормальной работы электроустановки.
- **Зануление** — соединение металлических нетоковедущих частей оборудования с глухозаземлённой нейтралью.
- **Падение напряжения** — разность напряжений в начале и конце линии, вызванная протеканием тока через её сопротивление.

2. Информационная лекция

2.1. Понятие «судовая земля» и виды заземления

На судах роль земли выполняет **металлический корпус судна**. В отличие от береговых электроустановок, где используется глухозаземлённая нейтраль, судовые сети работают с **изолированной нейтралью**. Это принципиальное отличие обеспечивает:

- повышенную живучесть электростанции (при одиночном замыкании на корпус установка продолжает работать);
- безопасность персонала (отсутствие контура через корпус при случайном прикосновении к одной фазе).

Виды заземления на судне:

1. Защитное заземление (зануление):

- Предназначено для защиты персонала от поражения электрическим током при повреждении изоляции.
- Все металлические нетоковедущие части оборудования (корпуса электродвигателей, светильников, щитов) соединяются с корпусом судна.
- При пробое изоляции на корпус ток короткого замыкания стекает на судовую землю, вызывая срабатывание защитного аппарата (автомата или предохранителя).

2. Рабочее заземление:

- Предназначено для обеспечения нормальной работы электроустановки.
- К рабочему заземлению относится соединение с корпусом нейтрали генераторов, вторичных обмоток трансформаторов, экранов кабелей.
- На судах с изолированной нейтралью рабочее заземление применяется ограниченно (только для цепей управления и сигнализации).

Требования Правил РМРС к заземлению:

1. Металлические корпуса всего электрооборудования должны быть надёжно заземлены.
2. Сопротивление заземляющего проводника не должно превышать **0,02/0,4 Ом**.
3. В качестве заземляющих проводников используются специальные шины или жилы кабелей.
4. Заземление должно выполняться сваркой или болтовым соединением с контролем затяжки.
5. Запрещается использовать корпус судна в качестве рабочего проводника для передачи тока нагрузки.

2.2. Расчёт электрических сетей

Расчёт электрических сетей является важнейшей задачей при проектировании и эксплуатации судового электрооборудования. Цель расчёта — выбор сечения кабеля, обеспечивающего:

- передачу необходимой мощности потребителю;
- допустимый нагрев кабеля;
- допустимое падение напряжения;
- защиту от коротких замыканий.

Алгоритм расчёта кабельной линии:

1. Определить расчётный ток нагрузки потребителя.
2. Выбрать сечение кабеля по длительно допустимому току.
3. Проверить выбранное сечение на допустимое падение напряжения.
4. Проверить соответствие выбранного сечения току защитного аппарата.

2.3. Расчёт тока нагрузки

Для трёхфазной сети переменного тока:

$$I = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi)$$

где:

- I — расчётный ток (А);
- P — мощность потребителя (Вт);
- U — линейное напряжение (В);
- $\cos\phi$ — коэффициент мощности.

Для однофазной сети:

$$I = P / (U \cdot \cos\phi)$$

Пример: Электродвигатель мощностью 15 кВт, напряжение 380 В, $\cos\phi = 0,85$.
 $I = 15000 / (1,73 \cdot 380 \cdot 0,85) = 15000 / 558,9 = 26,8$ А.

2.4. Выбор сечения кабеля по длительно допустимому току

Сечение кабеля выбирается из таблиц, которые приводятся в Правилах РМРС и ПТЭ СЭО. Основной критерий: длительно допустимый ток кабеля должен быть не меньше расчётного тока нагрузки.

Упрощённая таблица длительно допустимых токов для судовых кабелей (медные жилы, резиновая изоляция):

Сечение жилы, мм ²	Допустимый ток, А
1,0	11
1,5	15
2,5	21
4,0	29
6,0	38
10	55
16	75
25	100
35	125
50	155
70	195
95	240

2.5. Проверка на допустимое падение напряжения

Падение напряжения в кабельной линии не должно превышать допустимых значений, иначе потребитель не сможет нормально работать.

Для расчёта падения напряжения в кабеле используют формулу:

$$\Delta U = I \cdot R,$$

где:

- I — ток нагрузки (А);
- R — сопротивление участка цепи (Ом).

Сопротивление кабеля рассчитывают отдельно:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S},$$

где:

- ρ — удельное сопротивление материала жилы (для меди $\approx 0,0175$ Ом·мм²/м);
- L — длина кабеля (м);
- S — сечение жилы (мм²).

Объединённая формула (для медного кабеля):

$$\Delta U = I \cdot \rho \cdot \frac{L}{S} = I \cdot 0,0175 \cdot \frac{L}{S}.$$

Допустимые значения падения напряжения по практике и требованиям РМРС (часть XI)

Нормы не сводятся к универсальным «3 %» и «5–7 %», они зависят от участка сети и режима работы:

- **Кабели от генераторов до ГРЩ** — не более **1 %**.
- **Силовые цепи (продолжительный режим)** — до **7 %**.
- **Силовые цепи (кратковременный/повторно-кратковременный режим)** — до **10 %**.
- **Освещение и сигнализация (напряжение > 30 В)** — до **5 %**.
- **Освещение (напряжение ≤ 30 В)** — до **10 %**.
- **Питание радио-, навигационного оборудования, зарядных щитов** — не более **5 %**.
- **Прямой пуск асинхронных двигателей** — падение напряжения допускается до **25 %** (это отдельный расчётный случай).

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Российский морской регистр судоходства.** Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». — СПб.: РМРС, 2024.
 2. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с. (Раздел 9).
 3. **Вермонт С.А.** Практикум судового электрика. Методические указания по выполнению практических работ. — Владивосток: Дальрыбвтуз, 2023. — 75 с.
 4. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000.
 5. **ГОСТ 18482-79.** Кабели судовые. Технические условия.
-

4. Контрольные вопросы к Лекции №8

1. Дайте определение заземления.
2. Что такое «судовая земля»?
3. Чем отличается судовая сеть от береговой по режиму нейтрали?
4. Что такое защитное заземление?
5. Что такое рабочее заземление?
6. Каково максимально допустимое сопротивление заземляющего проводника по Правилам РМРС?
7. Почему запрещается использовать корпус судна в качестве рабочего проводника?
8. Перечислите этапы расчёта кабельной линии.
9. Напишите формулу расчёта тока для трёхфазной сети.
10. Напишите формулу расчёта тока для однофазной сети.
11. Что такое длительно допустимый ток кабеля?
12. Каково допустимое падение напряжения для силовых цепей?
13. Каково допустимое падение напряжения для цепей освещения?
14. Напишите формулу падения напряжения.
15. Почему сечение кабеля необходимо проверять на падение напряжения?
16. Какой ток допустим для кабеля сечением 4,0 мм²?
17. Какой ток допустим для кабеля сечением 25 мм²?
18. Почему судовая сеть работает с изолированной нейтралью?
19. Что произойдёт при одиночном замыкании на корпус в судовой сети?
20. Что произойдёт при одиночном замыкании на корпус в береговой сети?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: «Расчёт электрических сетей судовых потребителей»

Цель работы: Освоить методику расчёта тока нагрузки, выбора сечения кабеля по двум критериям (допустимый ток и падение напряжения) и проверки кабельной линии на соответствие требованиям.

Время выполнения: 4 академических часа.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УПРОЩЕНИЯ

Данная практическая работа является **учебной** и содержит ряд упрощений, которые необходимо учитывать:

1. **Нормы падения напряжения.** В рамках настоящей работы принята **учебная норма** для силовых цепей — **не более 5%**. Реальные требования Правил РМРС зависят от типа участка (генераторные фидеры — 1%, продолжительный режим — 7%, кратковременный — 10%, цепи навигации — 5%). В учебных целях используется единое значение 5% как условный критерий.
2. **Удельное сопротивление.** В расчётах используется $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ — значение для меди при **20°C**. В реальных условиях сопротивление жилы увеличивается с ростом температуры. Учёт температурного коэффициента выходит за рамки данной работы.
3. **Падение напряжения для трёхфазной сети.** Для трёхфазной симметричной сети падение напряжения рассчитывается **на одной фазе** ($\Delta U_{\text{фазы}}$). В рамках данной работы процент падения условно принимается как $\Delta U\% = (\Delta U_{\text{фазы}} / U_{\text{линейное}}) \cdot 100\%$, где $U_{\text{линейное}} = 380 \text{ В}$. Это упрощённый критерий, принятый для учебных целей. В реальном проектировании применяются более строгие методики, учитывающие схему соединения и требования РМРС.
4. **Падение напряжения для однофазной и постоянного тока.** Для однофазной сети и сети постоянного тока применяется формула $\Delta U = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / S$, учитывающая прямой и обратный провод.
5. **Таблица допустимых токов.** Значения допустимых токов приведены для **одиночной прокладки** медного кабеля с резиновой изоляцией при температуре окружающей среды **45°C**. При прокладке в пучке, в трубах или при более высокой температуре применяются поправочные коэффициенты, снижающие допустимый ток. Учёт этих коэффициентов выходит за рамки данной работы.
6. **Выбор сечения.** Сечение кабеля должно удовлетворять **обоим критериям одновременно**: по допустимому току и по допустимому падению напряжения. Из двух полученных значений выбирается **большее**.

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Ток нагрузки:

Тип сети	Формула	Обозначения
Трёхфазная	$I = P / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos\phi)$	P — мощность, Вт; $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$; $\cos\phi$ — коэффициент мощности
Однофазная	$I = P / (U_{\text{ф}} \cdot \cos\phi)$	$U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$

Внимание: мощность **P** подставляется в формулу в **ваттах (Вт)**. Если в условии она дана в киловаттах (кВт), предварительно умножьте значение на 1000.

Падение напряжения:

Тип сети	Формула	Обозначения
Трёхфазная симметричная	$\Delta U = I \cdot \rho \cdot L / S$	Падение напряжения на одной фазе; обратный путь тока замыкается через другие фазы
Однофазная / постоянный ток	$\Delta U = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / S$	Коэффициент 2 — прямой и обратный провод

Процентное падение напряжения:

Тип сети	Формула
Трёхфазная	$\Delta U\% = (\Delta U / 380) \cdot 100\%$
Однофазная	$\Delta U\% = (\Delta U / 220) \cdot 100\%$

Примечание: $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ (медь, 20°C); L — длина кабельной линии, м; S — сечение кабеля, мм^2 .

ТАБЛИЦА ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ТОКОВ

Условия: медные жилы, резиновая изоляция, температура окружающей среды 45°C, одиночная прокладка.

Сечение S, мм^2	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	10	16	25	35	50	70	95
Ток I _{доп} , А	11	15	21	29	38	55	75	100	125	155	195	240

ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ

Задача 1. Расчёт тока нагрузки (трёхфазная сеть)

Условие: Определите расчётный ток потребителя. Напряжение сети трёхфазное, линейное $U = 380$ В. Результат округлите до десятых.

Формула: $I = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi)$, где $\sqrt{3} = 1,73$.

Внимание: мощность P подставляется в ваттах (Вт). Если в условии она дана в киловаттах (кВт), предварительно умножьте на 1000.

Вариант	Потребитель	Мощность P , кВт	$\cos\phi$
1	Брашпиль	11	0,80
2	Компрессор пускового воздуха	15	0,85
3	Пожарный насос	22	0,87
4	Рулевая машина	7,5	0,78
5	Шпиль кормовой	5,5	0,75
6	Насос охлаждения ГД	18,5	0,88
7	Вентилятор МО	4,0	0,82
8	Грузовая лебёдка	30	0,85
9	Осушительный насос	3,0	0,75
10	Топливный насос	6,0	0,80
11	Сепаратор топлива	2,2	0,78
12	Масляный насос	9,0	0,84
13	Насос гидравлики	14	0,83
14	Кабестан	8,5	0,79
15	Санитарный насос	2,8	0,76
16	Питательный насос котла	12	0,86
17	Циркуляционный насос	5,0	0,81
18	Воздушный компрессор	20	0,87
19	Балластный насос	25	0,85
20	Насос забортной воды	7,0	0,80

Задача 2. Выбор сечения кабеля по допустимому току

Условие: По току, рассчитанному в задаче 1, выберите **минимальное сечение** кабеля из таблицы допустимых токов, для которого выполняется условие $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{расч}}$. Укажите выбранное сечение и его длительно допустимый ток.

Примечание: Выбор сечения по току — это только **первый критерий**. Окончательное сечение определяется после проверки на падение напряжения (задача 4).

Вариант	Расчётный ток $I_{\text{расч}}$, А
1	20,9
2	26,8
3	38,4
4	14,6
5	11,1
6	31,9
7	7,4
8	53,7
9	6,1
10	11,4
11	4,3
12	16,3
13	25,6
14	16,3
15	5,6
16	21,2
17	9,4
18	34,9
19	44,7
20	13,3

Задача 3. Расчёт падения напряжения в двухпроводной линии постоянного тока

Условие: Определите падение напряжения в двухпроводной линии постоянного тока с учётом прямого и обратного провода. Кабель медный, $\rho = 0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ (при 20°C). Результат округлите до сотых.

Формула: $\Delta U = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / S$

Обратите внимание: напряжение сети **U** не используется в расчёте падения напряжения ΔU . Формула зависит только от тока I , длины линии L , сечения S и удельного сопротивления ρ .

Вариант	Ток нагрузки I , А	Длина линии L , м	Сечение кабеля S , мм^2
1	15	20	2,5
2	21	18	4,0
3	28	25	6,0
4	10	15	1,5
5	18	22	2,5
6	35	30	10
7	8	12	1,0
8	55	35	16
9	12	16	2,5
10	25	28	4,0
11	40	40	10
12	16	18	2,5
13	30	24	6,0
14	20	26	4,0
15	45	32	16
16	14	14	2,5
17	22	20	4,0
18	30	30	6,0
19	50	38	16
20	11	12	1,5

Задача 4. Комплексная проверка кабельной линии

Условие: Для заданного потребителя выполните полный расчёт. Сечение кабеля должно удовлетворять **обоим критериям**: по допустимому току и по допустимому падению напряжения (учебная норма — не более 5%).

Алгоритм:

1. Рассчитать ток нагрузки I (используйте формулу в зависимости от типа сети).
2. **Выбрать минимальное сечение S_1 , для которого выполняется условие $I_{\text{доп}} \geq I$.**
3. Рассчитать падение напряжения ΔU при сечении S_1 (формула зависит от типа сети).
4. Рассчитать процентное падение напряжения $\Delta U\%$.
5. Если $\Delta U\% \leq 5\%$ — условие по допустимому падению напряжения выполняется.
6. Если $\Delta U\% > 5\%$ — **увеличивайте сечение до следующего большего из таблицы, пока условие $\Delta U\% \leq 5\%$ не будет выполнено. После каждого увеличения пересчитывайте ΔU и $\Delta U\%$. Как только $\Delta U\%$ станет $\leq 5\%$, остановитесь: выбранное сечение является итоговым. Не увеличивайте сечение сверх необходимого.**
7. **Записать итоговое сечение и явно указать, что оно удовлетворяет обоим критериям:**
 - по допустимому току: $I_{\text{доп}} \geq I$;
 - по падению напряжения: $\Delta U\% \leq 5\%$.

Тип сети	Ток	Падение напряжения ΔU	Процент падения $\Delta U\%$
Трёхфазная	$I = P / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos\phi)$	$\Delta U = I \cdot \rho \cdot L / S$	$\Delta U\% = (\Delta U / 380) \cdot 100\%$
Однофазная	$I = P / (U_{\text{ф}} \cdot \cos\phi)$	$\Delta U = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / S$	$\Delta U\% = (\Delta U / 220) \cdot 100\%$

Вариант	Потребитель	P, кВт	U, В	cosφ	L, м	Тип сети
1	Пожарный насос	18	380	0,86	45	Трёхфазная
2	Брашпиль	9	380	0,79	30	Трёхфазная
3	Компрессор	14	380	0,84	50	Трёхфазная
4	Освещение МО	2,5	220	1,0	35	Однофазная
5	Рулевая машина	6	380	0,77	25	Трёхфазная
6	Грузовая лебёдка	28	380	0,85	60	Трёхфазная
7	Вентилятор МО	3,5	380	0,81	20	Трёхфазная
8	Камбузное оборудование	4,0	220	0,95	40	Однофазная
9	Осушительный насос	2,8	380	0,74	28	Трёхфазная
10	Топливный насос	5,5	380	0,80	38	Трёхфазная
11	Сепаратор топлива	2,0	380	0,77	22	Трёхфазная
12	Масляный насос	8	380	0,83	48	Трёхфазная
13	Насос гидравлики	13	380	0,82	55	Трёхфазная
14	Освещение палубы	1,8	220	1,0	30	Однофазная

15	Санитарный насос	2,5	380	0,75	32	Трёхфазная
16	Питательный насос котла	11	380	0,85	42	Трёхфазная
17	Циркуляционный насос	4,5	380	0,80	26	Трёхфазная
18	Воздушный компрессор	19	380	0,86	58	Трёхфазная
19	Балластный насос	24	380	0,84	65	Трёхфазная
20	Насос заборной воды	6,5	380	0,79	34	Трёхфазная

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ (Вариант 0, образец)

Задача 1.

Потребитель: насос $P = 10$ кВт, $\cos\phi = 0,85$. Тип сети: трёхфазная.

$P = 10$ кВт = 10000 Вт.

$I = 10000 / (1,73 \cdot 380 \cdot 0,85) = 10000 / 559,0 = \mathbf{17,9 \text{ А}}$.

Задача 2.

По таблице: минимальное сечение, для которого $I_{\text{доп}} \geq 17,9 \text{ А}$, — **$2,5 \text{ мм}^2$** ($I_{\text{доп}} = 21 \text{ А}$).

Задача 3.

Тип сети: постоянный ток, двухпроводная линия. $I = 15 \text{ А}$, $L = 20 \text{ м}$, $S = 2,5 \text{ мм}^2$.

$\Delta U = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / S$.

Шаг 1: $2 \cdot 15 \cdot 0,0175 \cdot 20 = 10,5$.

Шаг 2: $10,5 / 2,5 = 4,20$.

$\Delta U = 4,20 \text{ В}$.

Задача

4.

Потребитель: насос $P = 10$ кВт, $U = 380 \text{ В}$, $\cos\phi = 0,85$, $L = 30 \text{ м}$. Тип сети: трёхфазная.

Формула падения напряжения: $\Delta U = I \cdot \rho \cdot L / S$.

1. Ток: $P = 10000 \text{ Вт}$. $I = 10000 / (1,73 \cdot 380 \cdot 0,85) = \mathbf{17,9 \text{ А}}$.

2. По току: минимальное сечение **$2,5 \text{ мм}^2$** ($I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} \geq 17,9 \text{ А}$).

3. Падение напряжения: $\Delta U = I \cdot \rho \cdot L / S = 17,9 \cdot 0,0175 \cdot 30 / 2,5 = \mathbf{3,76 \text{ В}}$.

4. Процентное падение: $\Delta U\% = (3,76 / 380) \cdot 100\% = \mathbf{0,99\%}$.

5. Проверка: $0,99\% \leq 5\%$ — **условие по допустимому падению напряжения выполняется.**

6. Увеличение сечения не требуется.

7. Вывод:

1. По допустимому току подходит сечение $2,5 \text{ мм}^2$ ($I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} \geq 17,9 \text{ А}$).

2. По падению напряжения при сечении $2,5 \text{ мм}^2$: $\Delta U\% = 0,99\% \leq 5\%$ — условие выполняется.

3. Итоговое сечение — **$2,5 \text{ мм}^2$** , удовлетворяет обоим критериям.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЁТА

Отчёт должен содержать:

1. **Титульную информацию:** название работы, ФИО студента, номер группы, номер варианта.
2. **Цель работы.**
3. **Решение каждой задачи** по алгоритму. В начале решения каждой задачи **явно** укажите **шаблонной фразой** тип сети и формулу:

Шаблон для трёхфазной сети:

«Тип сети: трёхфазная симметричная.

Формула падения напряжения: $\Delta U = I \cdot \rho \cdot L / S$.»

Шаблон для однофазной сети:

«Тип сети: однофазная.

Формула падения напряжения: $\Delta U = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / S$.»

Шаблон для постоянного тока:

«Тип сети: постоянный ток, двухпроводная линия.

Формула падения напряжения: $\Delta U = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / S$.»

Также указывайте:

- исходные данные;
 - **длину кабельной линии L (м) и тип прокладки** (в данном курсе — одиночная прокладка, без поправочных коэффициентов);
 - подстановку числовых значений;
 - результат с единицами измерения.
4. **Вывод** по результатам работы.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Оценка	Требования
«Отлично» (5)	Все 4 задачи решены верно, расчёты выполнены по алгоритму, оформление соответствует требованиям: формулы записаны полностью, подстановка значений показана явно, единицы измерения указаны для всех величин; в выводе по задаче 4 явно указаны оба критерия: по допустимому току ($I_{\text{доп}} \geq I$) и по падению напряжения ($\Delta U\% \leq 5\%$) . Допускается не более 1 арифметической ошибки.
«Хорошо» (4)	Верно решены 3 задачи, оформление соответствует требованиям. Допускается 1–2 незначительные ошибки в расчётах или выводах.
«Удов.» (3)	Верно решены 2 задачи. Имеются ошибки в применении формул или оформлении.
«Неуд.» (2)	Решено менее 2 задач, отсутствует понимание базовых формул. Требуется повторная сдача.

ЛЕКЦИЯ №9

Тема: Электробезопасность: действие электрического тока на организм человека и оказание первой помощи пострадавшему

Тип лекции: Информационная (установочная) с элементами проблемного изложения.

Продолжительность: 1 академический час (раздел 16 РПД, самостоятельная работа — 8 часов).

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Сформировать у обучающихся устойчивые знания о физиологическом действии электрического тока на организм человека, причинах электротравматизма на судах и практических навыках оказания первой помощи пострадавшему.

Задачи:

1. Изучить виды воздействия электрического тока на организм человека.
2. Рассмотреть факторы, влияющие на исход поражения электрическим током.
3. Изучить пороговые значения тока (ощутимый, неотпускающий, фибрилляционный).
4. Проанализировать причины поражения электрическим током в судовых условиях.
5. Освоить алгоритм оказания первой помощи пострадавшему от действия электрического тока.

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПКС-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт электрического и электронного оборудования...);
- ПКС-1 (Способен осуществлять безопасное техническое использование и техническое обслуживание судового электрооборудования...).

Базовые термины и определения:

- **Электротравма** — травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги на организм человека.
- **Пороговый ощутимый ток** — наименьшее значение тока, вызывающее ощутимые раздражения при прохождении через организм.
- **Пороговый неотпускающий ток** — наименьшее значение тока, при котором человек не может самостоятельно разжать руку и освободиться от контакта.
- **Фибрилляционный ток** — ток, вызывающий фибрилляцию (хаотичное сокращение) сердечной мышцы.
- **Клиническая смерть** — обратимое состояние, при котором отсутствуют дыхание и сердцебиение, но сохраняется жизнеспособность тканей.
- **СЛР** — сердечно-лёгочная реанимация.

2. Информационная лекция

2.1. Виды воздействия электрического тока на организм человека

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает комплексное воздействие. В соответствии с ГОСТ 12.1.009 выделяют следующие виды:

1. Термическое воздействие:

- Нагрев тканей вплоть до ожогов.
- Ожоги могут быть поверхностными (от электрической дуги) и внутренними (по пути прохождения тока).
- Наиболее выражены в местах входа и выхода тока («метки тока»).

2. Электролитическое воздействие:

- Разложение органических жидкостей (крови, лимфы, плазмы).
- Нарушение химического состава тканей и их физиологических свойств.

3. Биологическое воздействие:

- Раздражение и возбуждение нервных и мышечных тканей.
- Непроизвольные судорожные сокращения мышц.
- Нарушение работы сердца и дыхательной системы.

4. Механическое воздействие:

- Разрыв тканей, отрыв конечностей, переломы.
- Возникает из-за резких мышечных сокращений или ударного действия дуги.

5. Световое и звуковое воздействие (при электрической дуге):

- Поражение глаз ультрафиолетовым излучением (электроофтальмия).
- Акустическая травма от взрывного расширения воздуха.

2.2. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

Исход поражения зависит от множества факторов:

1. Сила тока (главный фактор):

Ток, мА	Характер воздействия	Последствия / Риски
0,5–1,5	Ощутимый ток	Сигнал об опасности, возможна потеря концентрации
5–10	Судороги, боль	Потеря контроля над инструментом, риск падения
10–15	Неотпускающий ток	Человек не может отпустить проводник — требуется немедленное отключение питания
25–50	Паралич дыхательных мышц	Высокий риск удушья
30–50 и выше	Риск фибрилляции сердца	Риск фибрилляции становится значимым уже при токах около 30 мА, но критическим он становится при сочетании силы тока, пути прохождения (через грудную клетку) и длительности воздействия (более 1–2 секунд)
50–100 и выше	Остановка кровообращения	Такие токи часто приводят к остановке кровообращения при типичных путях тока
Более 100	Остановка сердца, тяжёлые ожоги	Высокий риск летального исхода

Важное уточнение: Пороговые значения носят ориентировочный характер и зависят от пути тока, длительности воздействия и индивидуальных особенностей человека.

Важно про длительность воздействия: Опасность тока резко возрастает при длительности воздействия **более 1 секунды**. Это объясняется двумя причинами:

- **Снижение сопротивления тела** — при длительном протекании тока кожа нагревается, увлажняется и её сопротивление падает, что приводит к дальнейшему росту тока.
- **Совпадение с уязвимой фазой сердечного цикла** — при длительном воздействии растёт вероятность, что ток совпадёт с фазой Т (уязвимая фаза сердечного цикла), что резко повышает риск фибрилляции.

При токах 30–50 мА и времени более 1–2 секунд риск фибрилляции становится критическим.

2. Род и частота тока:

- Переменный ток опаснее постоянного при напряжениях до 500 В.
- Наиболее опасна частота 50–60 Гц (совпадает с ритмом сердца).
- Постоянный ток опасен при более высоких значениях.

3. Путь тока через тело человека:

- Наиболее опасны пути: «рука — рука», «рука — нога», «голова — ноги».
- Опасность возрастает, если ток проходит через сердце, лёгкие, головной мозг.

4. Длительность воздействия:

- Чем дольше человек находится под током, тем тяжелее последствия.
- При длительном воздействии снижается сопротивление тела и увеличивается ток.

5. Индивидуальные свойства человека:

- Состояние здоровья (болезни сердца, нервной системы).
- Состояние опьянения, усталости.
- Возраст и пол.

6. Сопротивление тела человека:

- Сопротивление сухой кожи: **10 000–100 000 Ом**.
- Сопротивление влажной кожи: **1000–5000 Ом**.
- В судовых условиях (высокая влажность, пот, солёная вода) сопротивление резко снижается.

2.3. Опасные напряжения в судовых условиях

Общепринятым ориентиром является: опасное напряжение — **выше 50 В переменного тока** или **выше 120 В постоянного тока**.

Однако в судовых условиях (высокая влажность, металлические поверхности, контакт с корпусом) опасность поражения током возрастает даже при более низких напряжениях. Поэтому в особо опасных помещениях (машинные отделения, трюмы, палубы) повышенные меры безопасности применяются уже при напряжениях **свыше 24–48 В переменного тока**.

Важное пояснение: Это не универсальное правило для всех судов, а рекомендация для особо опасных помещений, где сочетаются несколько факторов риска (влажность, металл,

ограниченное пространство). Цифру 24–48 В нельзя воспринимать как абсолют для любой ситуации.

2.4. Причины поражения электрическим током в судовых условиях

Судовые условия создают повышенный риск электротравматизма:

Факторы риска:

1. **Металлический корпус судна** — является проводником и создаёт замкнутый контур.
2. **Повышенная влажность** — снижает сопротивление тела человека.
3. **Ограниченное пространство** — увеличивает вероятность случайного прикосновения.
4. **Вибрация** — приводит к ослаблению контактов и повреждению изоляции.
5. **Загазованность** — повышает опасность взрыва при искрении.
6. **Работа в аварийных условиях** — при затоплении, пожаре, крене.

Основные причины поражения:

1. Прикосновение к неизолированным токоведущим частям.
2. Появление напряжения на металлических корпусах из-за пробоя изоляции.
3. Ошибочная подача напряжения на отключённое оборудование.
4. Нарушение правил техники безопасности.
5. Отсутствие или неисправность защитного заземления (зануления).
6. Неисправность или отсутствие устройств контроля изоляции, защитных блокировок и средств сигнализации; отсутствие или неправильная работа систем автоматического отключения при снижении сопротивления изоляции.
7. Использование самодельных или несертифицированных удлинителей и переходников.

Примечание про УЗО: В отдельных цепях (бытовые розетки, камбуз, душевые) могут применяться устройства защитного отключения (УЗО). Их неисправность или отсутствие в таких цепях повышает риск электротравматизма. В судовых сетях с изолированной нейтралью классические УЗО берегового типа применяются ограниченно — вместо них используются устройства контроля изоляции.

2.5. Алгоритм оказания первой помощи пострадавшему

Алгоритм действий:

1. **Оценить собственную безопасность и безопасность места происшествия:**
 - Не приближаться к пострадавшему, если есть видимые повреждения кабеля, искрение, пар, вода под ногами, запах горелой изоляции.
 - Действовать только при возможности безопасно отключить питание или применить изолирующие средства.
2. **Обесточить участок или безопасно освободить пострадавшего:**
 - Отключить питание (автоматический выключатель, рубильник).
 - При невозможности отключения — использовать изолирующие средства: диэлектрические перчатки, сухую деревянную палку, изолирующую штангу.

- **Запрещено** прикасаться к пострадавшему незащищёнными руками до снятия напряжения.
- В судовых условиях учитывать заземление корпуса и возможность наличия потенциала на металлических частях.

Примечание: Проверка отсутствия напряжения производится **только** с помощью исправного и поверенного (с действующей отметкой о периодических испытаниях) указателя напряжения или измерительного прибора. Визуальный осмотр или проверка «на искру» **недопустимы**. В судовых условиях дополнительно проверяется отсутствие потенциала на корпусе и заземляющих шинах.

3. Оценить состояние пострадавшего:

- Проверить наличие сознания (окликнуть, похлопать).
- Проверить дыхание (по движению грудной клетки, поднести ухо ко рту).
- Проверить пульс **только на сонной артерии**.
- **Важное пояснение:** При электротравме из-за спазма периферических сосудов и шока пульс на лучевой артерии (запястье) часто не прощупывается, даже если сердце работает. Поэтому проверка выполняется только на сонной артерии. Это частая ошибка на практике, и правильная локализация пульса может спасти жизнь.

4. Уложить пострадавшего на спину на твёрдую ровную поверхность:

- Мягкие поверхности (матрасы, ковры, наклонные палубы) снижают эффективность компрессий и могут привести к травмам рёбер без нужного эффекта.

5. Вызвать медицинскую помощь:

- Передать сигнал по судовой связи или любым доступным способом.

6. При отсутствии дыхания и пульса начать СЛР:

- Непрямой массаж сердца: **30 надавливаний на грудину и 2 вдоха искусственного дыхания**.
- **Если спасатель не может или не хочет делать искусственное дыхание (нет барьерного устройства — лицевой маски или клапана), допустимо проводить только непрямой массаж сердца. Это лучше, чем ничего.**
- **Практический совет:** Наличие барьерного устройства (клапана) — не просто рекомендация, а требование безопасности спасателя. Без него риск инфицирования слишком высок.
- Продолжать до прибытия медицинской помощи или восстановления признаков жизни.

Важно: Обратимый период клинической смерти составляет примерно **4–6 минут** при нормальной температуре тела. При гипотермии (например, в холодной воде) этот период **может увеличиваться**, но это **не отменяет необходимости немедленно начать СЛР. Не следует тратить время на попытки согреть пострадавшего до начала реанимационных мероприятий.** Каждая минута без кровообращения резко снижает шансы на выживание.

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок** (приказ Минтруда России от 15.12.2020 № 903н).
 2. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000 (действующее издание).
 3. **Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДНВ/STCW).** — Глава VI, Таблица A-VI/1-4 (элементарная первая помощь).
 4. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с. (Раздел 16).
 5. **ГОСТ 12.1.009-2017.** Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.
-

4. Контрольные вопросы к Лекции №9

1. Дайте определение электротравмы.
2. Перечислите виды воздействия электрического тока на организм человека.
3. Что такое пороговый ощутимый ток? Укажите его значение.
4. Что такое пороговый неотпускающий ток? Укажите его значение.
5. Что такое фибрилляционный ток? Укажите его значение.
6. При каком значении тока появляется риск фибрилляции сердца?
7. Какое напряжение считается опасным в судовых условиях?
8. Какое напряжение требует повышенных мер безопасности в машинных отделениях?
9. Каковы сопротивления сухой и влажной кожи человека?
10. Перечислите факторы, влияющие на исход поражения электрическим током.
11. Почему переменный ток частотой 50–60 Гц наиболее опасен?
12. Перечислите причины поражения электрическим током в судовых условиях.
13. Что такое клиническая смерть и какова её продолжительность?
14. Перечислите шаги алгоритма оказания первой помощи.
15. Как правильно освободить пострадавшего от действия тока?
16. Как правильно проверить отсутствие напряжения перед оказанием помощи?
17. Почему пульс нельзя проверять на запястье (лучевой артерии)?
18. В каких случаях начинают сердечно-лёгочную реанимацию?
19. Что включает в себя сердечно-лёгочная реанимация?
20. Перечислите 3–4 действия, которые **категорически запрещены** при оказании первой помощи пострадавшему от электрического тока.
21. **Ситуационная задача:** Специалист по электрооборудованию обнаружил пострадавшего, лежащего рядом с распределительным щитом 380 В. Опишите ваши действия по порядку. Обоснуйте, почему нельзя сразу хватать пострадавшего за руку.

ЛЕКЦИЯ №10

Тема: Обзорное занятие: алгоритм поиска неисправностей в судовом электрооборудовании и подготовка к итоговой аттестации

Тип лекции: Обзорно-обобщающая (заключительная).

Продолжительность: 1 академический час.

1. Цели и задачи лекции

Учебная цель: Систематизировать знания, полученные в ходе изучения дисциплины, и сформировать у обучающихся целостный алгоритм действий при поиске и устранении неисправностей в судовом электрооборудовании.

Задачи:

1. Обобщить материал всех предыдущих лекций.
2. Сформировать общий алгоритм поиска неисправностей, минимизирующий риск усугубления повреждения и обеспечивающий безопасность персонала.
3. Разобрать типовые отказы судового электрооборудования и методы их диагностики.
4. Подчеркнуть роль технической документации (однолинейные схемы, кабельные журналы, протоколы испытаний) при поиске неисправностей.
5. Подготовить обучающихся к сдаче зачёта.

Формируемые компетенции (согласно РПД):

- ПКС-8 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт электрического и электронного оборудования...);
- ПКС-9 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт систем автоматики и управления...);
- ПКС-11 (Способен осуществлять безопасное техническое обслуживание и ремонт электрических, электронных систем и систем управления палубными механизмами...).

Базовые термины и определения:

- **Неисправность** — состояние оборудования, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической документации.
- **Диагностика** — процесс определения технического состояния оборудования.
- **Алгоритм поиска неисправности** — последовательность действий, которая минимизирует риск усугубления повреждения и обеспечивает безопасность персонала.
- **Техническая документация** — совокупность документов (схемы, инструкции, руководства), необходимых для эксплуатации и ремонта оборудования.

2. Информационная лекция

2.1. Обзор пройденного материала

В ходе изучения дисциплины были рассмотрены следующие темы:

№ лекции	Тема	Ключевые понятия (для зачёта)
1	Введение в судовые электростанции	Состав СЭС, требования безопасности
2	Электроизмерительные приборы	Классификация, погрешности, схемы включения
3	Распределительные устройства и кабели	ГРЩ, маркировка кабелей
4	Аварийные источники и береговое питание	АДГ, АБ, подключение с берега
5	Защитные средства и контроль изоляции	Перчатки, указатели, мегомметр
6	Сушка машин и поиск повреждений кабеля	Петля Муррея, нормы изоляции
7	Электрическое освещение	Световые величины, расчёт освещённости
8	Заземление и расчёт сетей	Расчёт падения напряжения, выбор сечения
9	Электробезопасность и первая помощь	Действие тока, СЛР

2.2. Общий алгоритм поиска неисправности

Поиск неисправности — это последовательный процесс, который должен выполняться по определённому алгоритму. Хаотичные действия приводят к потере времени и могут усугубить повреждение.

Этап 1. Анализ симптомов:

- Что именно не работает?
- Когда возникла неисправность (при пуске, во время работы, после ремонта)?
- Какие защитные аппараты сработали?
- Есть ли посторонние запахи, дым, искрение?

Этап 2. Визуальный осмотр:

- Проверить состояние автоматических выключателей и предохранителей.
- Осмотреть контактные соединения на наличие подгорания.
- Проверить целостность изоляции кабелей.
- Обратить внимание на следы перегрева (изменение цвета, запах).

Этап 3. Инструментальная проверка (с учётом судовых условий):

- **Сначала убедиться в отсутствии напряжения** на токоведущих частях с помощью исправного и поверенного указателя напряжения (или измерительного прибора). Это обязательная операция перед любыми работами с прикосновением или разборкой.

- **Произвести кратковременное заземление проверяемого участка для снятия ёмкостного заряда** (особенно важно для длинных кабельных линий: кабель может хранить опасный потенциал даже после отключения питания).
- **Измерить сопротивление изоляции мегомметром** — только при полном снятии напряжения и после снятия остаточного заряда.
- **Прозвонить цепь на обрыв омметром** (или мультиметром).
- **Измерить ток нагрузки токоизмерительными клещами** и сравнить с номинальным значением. В судовых сетях с изолированной нейтралью и в стеснённых условиях клещи предпочтительнее включения амперметра в разрыв цепи.
- **Проверить симметрию токов по фазам** (при трёхфазном питании) — несимметрия может быть причиной срабатывания тепловой защиты.

Типичные ошибки, которых следует избегать:

- **Не измеряйте сопротивление изоляции при наличии напряжения на участке** — это опасно и может повредить мегомметр.
- **Не используйте режим омметра мультиметра на цепи под напряжением** — возможно повреждение прибора и поражение током.
- **При измерении тока клещами охватывайте только один проводник (одну фазу).** Измерение нескольких проводов одновременно даёт некорректный результат.

Этап 4. Локализация неисправности:

- Разделить цепь на участки и последовательно исключать исправные.
- Использовать принцип «от простого к сложному».

Этап 5. Устранение неисправности:

- Заменить повреждённый элемент.
- Восстановить контактное соединение.
- Устранить причину, вызвавшую повреждение.

Этап 6. Проверка после ремонта:

- Измерить сопротивление изоляции.
- Проверить работу оборудования на холостом ходу.
- Проконтролировать параметры под нагрузкой.

2.3. Типовые отказы судового электрооборудования

1. Электродвигатель не запускается:

Приоритет проверки	Возможная причина	Метод проверки	Риск/последствия при неверном действии
1 (простое)	Нет напряжения на зажимах	Проверить указателем напряжения	Пропуск этого шага может привести к лишней разборке исправного оборудования
2	Сработал автомат защиты	Осмотреть автомат, проверить причину	Повторное включение без выяснения причины может усугубить повреждение
3	Перегрузка механизма	Проверить вал на свободное вращение (подшипники, посторонние предметы, перекос)	Попытка пуска при заклиненном вале приводит к перегреву обмоток и выходу двигателя из строя
4	Неисправен пускатель	Проверить катушку и контакты пускателя	Замена двигателя при исправных обмотках не устранил неисправность
5 (сложное)	Обрыв обмотки	Прозвонить обмотки омметром	Принудительный пуск при обрыве обмотки может привести к перегреву исправных обмоток и полному выходу двигателя из строя

2. Срабатывает автоматический выключатель:

Возможная причина	Метод проверки
Короткое замыкание в цепи	Измерить сопротивление изоляции, проверить отсутствие КЗ прозвонкой
Перегрузка	Измерить ток нагрузки клещами, сравнить с номиналом автомата
Несимметрия нагрузки (перекос токов по фазам)	Измерить токи по каждой фазе, проверить равномерность нагрузки
Неисправен сам автомат	Проверить тепловой расцепитель, при необходимости заменить и испытать
Замыкание на корпус	Проверить мегомметром, прозвонить на «землю»

3. Светильник не горит:

Возможная причина	Метод проверки
Перегорела лампа	Заменить лампу
Неисправна ПРА (для ЛЛ)	Проверить дроссель и стартер
Обрыв в проводке	Прозвонить цепь
Неисправен выключатель	Проверить контакты выключателя

4. Повышенный нагрев кабеля:

Возможная причина	Метод проверки
Сечение кабеля недостаточно	Сравнить с расчётным током
Плохой контакт в соединении	Осмотреть и подтянуть контакты
Прокладка в пучке без учёта коэффициентов	Проверить условия прокладки
Прокладка в горячих помещениях (рядом с выхлопными коллекторами)	Проверить фактическую температуру окружающей среды и применить поправочный коэффициент

Примечание: Повышенный нагрев может быть следствием не только малого сечения, но и неправильного выбора поправочных коэффициентов при прокладке в пучке или в горячих помещениях. В таких случаях даже кабель с «правильным» сечением будет перегреваться.

Примечание по кабельным линиям.

Метод петли Муррея позволяет локализовать место повреждения с точностью до нескольких метров. **Условия корректного применения метода:**

- известно сечение и материал жилы;
- один конец кабеля доступен для подключения измерительной схемы;
- повреждение — одиночное (один обрыв или одно замыкание).

При множественных повреждениях или двух обрывах метод даёт неточные результаты и не рекомендуется к применению.

2.4. Роль технической документации (судовая специфика)

При поиске неисправностей обязательно использование технической документации:

1. **Однолинейные схемы ГРЩ** — позволяют быстро определить, какой фидер и через какие защитные аппараты питает оборудование, а также какие потребители находятся на одной секции.
2. **Кабельные журналы** — содержат данные о марке, сечении, длине и трассе кабелей, что критично при расчёте падения напряжения и поиске повреждений.
3. **Протоколы испытаний и записи в журнале ТО** — помогают выявить участки с хронически низкой изоляцией или повторяющимися отказами. Если кабель уже имел снижение изоляции, это прямой индикатор зоны риска.
4. **Нормы РМРС** — определяют минимально допустимые значения сопротивления изоляции для разных цепей. **Минимальные нормы: силовые цепи ≥ 1 МОм, цепи управления и автоматики $\geq 0,5$ МОм (по Правилам РМРС).**
5. **Инструкции по эксплуатации и руководства по ремонту** — содержат рекомендации по обслуживанию и типовым неисправностям.

Правила работы со схемами:

- Изучить обозначения элементов.

- Определить маркировку проводов и клемм.
- Проследить цепь от источника к потребителю.
- Отметить точки, где удобно производить измерения.

2.5. Подготовка к итоговой аттестации

Для успешной сдачи зачёта необходимо:

1. **Повторить основные термины и определения** из каждой лекции.
2. **Знать формулы** и понимать, как они применяются при решении практических задач.
3. **Уметь расшифровывать маркировку кабелей** (КНР, КНРТ, КНРЭ, СПОВ).
4. **Знать нормы** сопротивления изоляции, допустимых падений напряжения, пороговых токов.
5. **Уметь описать алгоритм** оказания первой помощи при электротравме.
6. **Понимать принципы** выбора сечения кабеля по двум критериям (ток и падение напряжения).
7. **Знать правила** безопасной организации работ в электроустановках.

Перечень ключевых вопросов к зачёту (сгруппированы по типам задач):

Группа 1. Безопасность и организация работ:

1. Состав и классификация судовых электростанций.
2. Защитные средства и их испытания.
3. Указатели напряжения и порядок их проверки.
4. Правила безопасной организации работ в электроустановках.
5. Действие электрического тока на организм человека.
6. Алгоритм оказания первой помощи при электротравме.
7. Требования РМРС к минимально допустимым значениям сопротивления изоляции.

Группа 2. Расчётные и проектные задачи:

8. Классификация электроизмерительных приборов и расчёт погрешностей.
9. Схемы включения амперметра и вольтметра.
10. Устройство и назначение ГРЩ.
11. Маркировка судовых кабелей.
12. Аварийные источники электроэнергии.
13. Порядок подключения берегового питания.

14. Измерение сопротивления изоляции мегомметром.
 15. Способы сушки электрических машин.
 16. Методы определения мест повреждения кабеля.
 17. Расчёт искусственного освещения.
 18. Виды заземления на судне.
 19. Расчёт тока нагрузки и выбор сечения кабеля.
 20. Проверка кабельной линии на падение напряжения.
 21. Общий алгоритм поиска неисправностей.
-

3. Материалы для изучения (Источники)

1. **Густилин В.Н.** Практикум судового электрика. Учебное пособие. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. — 111 с.
2. **Вермонт С.А.** Практикум судового электрика. Методические указания по выполнению практических работ и организации самостоятельной работы. — Владивосток: Дальрыбвтуз, 2023. — 75 с.
3. **Российский морской регистр судоходства.** Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». — СПб.: РМРС, 2024.
4. **Правила технической эксплуатации судового электрооборудования (ПТЭ СЭО).** — М.: Мортехреклама, 2000.
5. **Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок** (приказ Минтруда России от 15.12.2020 № 903н).

4. Контрольные вопросы к Лекции №10

1. Перечислите этапы общего алгоритма поиска неисправности.
2. С чего начинается анализ неисправности?
3. Что проверяется при визуальном осмотре?
4. Какие инструментальные проверки выполняются при поиске неисправности (с учётом судовых условий)?
5. Зачем производится кратковременное заземление участка перед измерением сопротивления изоляции?
6. Перечислите типичные ошибки при инструментальной проверке.
7. Каков принцип локализации неисправности?
8. Что необходимо сделать после устранения неисправности?
9. Перечислите возможные причины отказа электродвигателя при пуске в порядке приоритета проверки.
10. Каковы возможные причины срабатывания автоматического выключателя?
11. Почему светильник может не гореть?
12. Каковы причины повышенного нагрева кабеля?
13. При каких условиях метод петли Муррея даёт корректные результаты?
14. Какова роль технической документации при поиске неисправностей?
15. Какие виды технической документации используются при ремонте на судне?
16. Перечислите темы зачёта, связанные с безопасностью и организацией работ.
17. Перечислите темы зачёта расчётного и проектного характера.
18. **Мини-задача:** Дано: электродвигатель 380 В, 15 кВт, $\cos \phi = 0,85$; автомат на фидере 25 А; при пуске автомат срабатывает. Перечислите 3 первые проверки в порядке приоритета и кратко обоснуйте каждую.
19. Приведите формулы и поясните, как они применяются при выборе сечения кабеля и проверке падения напряжения в судовой сети.

ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ
по дисциплине «Практикум судового электрика»

1. Состав и классификация судовых электростанций. Основные требования к ним.
2. Устройство и назначение главного распределительного щита (ГРЩ).
3. Аварийные источники электроэнергии: виды, требования, потребители.
4. Порядок подключения судна к береговой электрической сети.
5. Классификация электроизмерительных приборов. Условные обозначения на шкалах.
6. Схемы включения амперметра и вольтметра. Расширение пределов измерения.
7. Расчёт погрешностей измерений. Класс точности.
8. Маркировка судовых кабелей. Расшифровка основных марок.
9. Заземление на судне: виды, требования, отличие от береговой сети.
10. Расчёт тока нагрузки и выбор сечения кабеля.
11. Проверка кабельной линии на допустимое падение напряжения.
12. Защитные средства: классификация, сроки испытаний.
13. Указатели напряжения: устройство, порядок проверки.
14. Измерение сопротивления изоляции мегомметром. Нормы РМРС.
15. Способы сушки электрических машин.
16. Методы определения мест повреждения кабеля. Петля Муррея.
17. Световые величины. Расчёт искусственного освещения.
18. Действие электрического тока на организм человека. Пороговые значения.
19. Алгоритм оказания первой помощи при электротравме.
20. Алгоритм поиска неисправностей в судовом электрооборудовании.
21. **Расчётная задача:** Рассчитайте ток трёхфазного двигателя мощностью 15 кВт, $U = 380\text{ В}$, $\cos \phi = 0,85$. Какой номинал автомата вы бы выбрали и почему?
22. **Расчётная задача:** Кабель длиной 50 м, ток 20 А, $\cos \phi = 0,8$, сечение 6 мм². Проверьте, укладывается ли падение напряжения в 5%, если удельное сопротивление меди $\rho = 0,0175\text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, напряжение сети 380 В (трёхфазная).